

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

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних робіт з дисципліни  
«Антиени спеціального призначення та САПР антен»  
Частина I  
для студентів спеціальності  
172 «Електронні комунікації та радіотехніка»  
ОПП «Радіотехніка»  
всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Анени спеціального призначення та САПР антен». Частина I. 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. – 35 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	Лабораторна робота №1. Вивчення автоматизованого вимірювального комплексу «АІК-Л» .....	4
	1.1 Технічні характеристики .....	4
	1.2 Математична обробка результатів вимірів .....	5
	1.3 Визначення ширини ДС за заданим рівнем потужності .....	6
	1.4 Визначення напрямку установки максимуму головної пелюстки ДС по завданому рівню .....	6
	1.5 Визначення рівнів бічних пелюсток ДС .....	7
	1.6 Визначення коефіцієнта спрямованої дії по перерізу .....	7
	1.7 Визначення інтегрального фону по перерізу .....	8
	1.8 Склад і принцип роботи АІК-Л .....	8
	1.9 Інструкція користувачу .....	12
	1.10 Вказівки мір безпеки .....	15
	1.11 Контрольні запитання .....	15
2	Лабораторна робота №2. Дослідження багатоканального подільника потужності (БПП) .....	17
	2.1 Призначення і функції .....	19
	2.2 Опис роботи модуля .....	20
	2.3 Стислий опис коаксіально-хвильового переходу (КХП) і кінцевих навантажень .....	20
	2.4 Електричні характеристики фрагмента БПП .....	20
	2.5 Стислий опис методики настроювання БПП .....	21
	2.6 Методика виміру електричних характеристик БПП .....	21
	2.7 Контрольні запитання .....	27
3	Лабораторна робота №3. Лінійний опромінювач з частотним скануванням .....	28
	3.1 Призначення, технічні дані, склад .....	28
	3.2 Принцип роботи .....	28
	3.3 Експериментальна частина .....	33
	3.4 Зміст звіту .....	33
	3.5 Контрольні запитання .....	33
	Перелік джерел посилань .....	35

# 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ВИВЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ «АІК-Л»

**Ціль роботи:** Ознайомлення зі складом, функціями та роботою автоматизованого вимірювального комплексу «АІК-Л».

## 1.1 Технічні характеристики автоматизованого вимірювального комплексу «АІК-Л»

1.1.1. Стенд "АІК-Л" забезпечує вимір за один робочий цикл лінійної матриці АФР при автоматичному переміщенні зонда по координаті Y і ручній установці координат X та Z.

Максимальний розмір лінійної матриці 1 x 256.

1.1.2. Результуюча максимальна похибка виміру відносної амплітуди і фазових зсувів у динамічному діапазоні з ймовірністю 0,954 не перевищує:

$$\Delta A \leq 1.8 \text{ дБ};$$

$$\Delta \varphi \leq 10.0 \text{ град.}$$

1.1.3. Діапазон робочих частот 0.5...4 ГГц.

1.1.4 Лінійний координатно-вимірювальний пристрій (ЛКВП) забезпечує:

- середньоквадратичне відхилення робочої поверхні сканування від площини по осі Z не більш 1.2 мм;
- розмір робочої зони сканування по координаті Y не менше 5600 мм;
- максимальну швидкість переміщення зонду не менше 2 см/с;
- мінімальний крок виміру не більш 25 мм;
- похибка відпрацювання кроку вимірів не більш  $\pm 1$  мм;
- розмір механічного переміщення зонда по координаті X не менше 650 мм по координаті Z не менше 500 мм

1.1.5. Рухомий НВЧ-тракт передачі сигналу забезпечує:

- середньоквадратичне значення нестабільності фазової характеристики не більш 2;
- нестабільність амплітудної характеристики не більш  $\pm 0.2$  дБ;
- коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) не більш 1.5;
- втрати в тракті не більш 12 дБ.

1.6. Вимірювач відношень рівнів і різниці фаз ФК2-18 у відповідності з технічним описом забезпечує в динамічному діапазоні до 40 дБ:

- межі значень похибки виміру відношення рівнів сигналів без урахування похибки неузгодженості:

$$\Delta A \leq \pm(0.5 + 0.02 * A_k + 0.03 * A) (\pm 2.0 \text{ дБ})$$

- межі значень похибки виміру різниці фаз сигналів без урахування похибки неузгодженості.

$$\Delta \varphi \leq \pm(1 + 0.034 * \Phi + 0.075 * A) (\pm 10^\circ)$$

1.7 Результатом роботи стенда «АК-Л» є така інформація:

- таблиця результатів вимірів (вхідної масив);
- таблиця параметрів;
- графіки ДС, АФР, АР і ФР на апертурі лінійної антени.

## 1.2 Математична обробка результатів вимірів

Розрахунок лінійних ДС виконується за формулою:

$$D(\theta_j) = G * \sum_{k=0}^{N-1} E_k * (-1)^k * \exp((-2 * \pi * i * j * k) / M) \quad (1)$$

де  $D(\theta_j)$  - комплексне значення ДС у напрямку  $\theta_j$ ;

$$\theta_j = \frac{180}{\pi} * \arcsin \frac{\lambda}{2 * h} * \left( \frac{2 * j}{M} - 1 \right) \text{ - кутова координата ДС у градусах;}$$

$i = \sqrt{-1}$  - уявна одиниця;

$\lambda$  - довжина хвилі;

h - крок між відліками АФР у БЗІ; .

j - номер відліку; М - довжина перетворення;

N - число відліків в АФР у БЗІ;

k - індекс перетворення;

Ek - комплексні відліки АФР у БЗІ;

G - нормувальний коефіцієнт.

Формула (1) являє собою дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) і реалізується через алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

### 1.3 Визначення ширини ДС за заданим рівнем потужності

Ширина ДС (ширина головної пелюстки) визначається як різниця значень кутів, що співпадають із заданим рівнем потужності ліворуч ( $\theta_l$ ) і праворуч ( $\theta_n$ ) від максимуму ДС.

де  $\theta = |\theta_l - \theta_n|$

$\theta$  - ширина ДН;

$\theta_{l(n)}$  - значення кутів, що відповідають завданому рівню потужності ліворуч і праворуч щодо максимуму ДС.

Значення кутів, що відповідають завданому рівню потужності, визначається методом лінійної інтерполяції координат між точками, що лежать вище і нижче цього рівня:

$$\theta_{l(n)} = \theta_l - \frac{(P_i - P_x)(\theta_{i+1} - \theta_i)}{P_{i+1} - P_i}$$

де  $P_i \leq P_x \leq P_{i+1}$  - заданий рівень потужності;

$\theta_i$  - кутова координата.

Ширина ДС, приведена до променя, спрямованого по нормалі до апертури АУ, на частоті  $f_{прив}$  обчислюється за формулою:

$$\theta_{прив} = \theta \sqrt{1 - \cos \alpha * \frac{\lambda_{прив}}{\lambda}}$$

де  $\theta_{прив}$  - приведена ширина;

$\theta$  - ширина головної пелюстки ДС;

$\lambda$  - поточна довжина хвилі;

$\lambda_{прив} = \frac{c}{f_{прив}}$  - довжина хвилі приведення;

$\cos \alpha$  - напрямний косинус (вертикальний або горизонтальний);

$\alpha$  - кут між напрямком максимуму головної пелюстки ДС і нормаллю до апертури АУ.

#### 1.4 Визначення напрямку установки максимуму головної пелюстки ДС по заданому рівню

Напрямок установки максимуму головної пелюстки ДС по заданому рівню обчислюється по формулі:

$$\chi_{\max} = \frac{\theta_l - \theta_n}{2},$$

де  $\chi_{\max}$  - напрямок установки максимуму головної пелюстки ДС по заданому рівню;

$\theta_l, \theta_n$  - значення кутів, що відповідають заданому рівню потужності зліва і справа від максимуму ДС.

#### 1.5 Визначення рівнів бічних пелюсток ДС

Рівні бічних пелюсток (РБП) ДС і їх кутові положення визначаються з розрахованих, відповідно до п. 4.2.7.1, значень ДС.

Пошук бічних пелюсток ДС здійснюється вліво і вправо від максимального значення ДС згідно заданого критерія:

- глибина провалу не менше 1.5 дБ
- ширина провалу на рівні  $(P-1)$ дБ не менше 20, ( P - рівень максимуму бічної пелюстки).

## 1.6 Визначення коефіцієнта спрямованої дії по перерізу

Коефіцієнт спрямованої дії (КСД) по перерізу обчислюється за формулою:

$$G = \frac{2 * \pi * P_{\max} * \cos \varphi_{\max}}{\lambda * \sum_{k=1}^N P_k * \cos(\varphi_k * \Delta \varphi_k)}$$

де G - КСД по перерізу ; P<sub>max</sub> - максимум ДС ;

$\varphi_{\max}$  - координата максимуму ДС,

P<sub>k</sub> - поточне значення ДС;

$\varphi_k$  - поточна координата;

$\lambda$ - довжина хвилі.

## 1.7 Визначення інтегрального фону по перерізу

Інтегральний фон по перерізу обчислюється за формулою:

$$F = \frac{1}{S_1} \int_{b_1}^{a_1} f(\theta) * \cos \theta d\theta + \frac{1}{S_2} \int_{b_2}^{a_2} f(\theta) * \cos \theta d\theta$$

де F - інтегральний фон по перерізу;

$S_1 = a_1 - b_1$ ,  $S_2 = a_2 - b_2$ - сектор для обчислення інтегрального фону;

f(θ) - нормоване значення ДС: θ - кутова координата;

$a_1, a_2, b_1, b_2$  - межі інтегрування.

## 1.8 Склад і принцип роботи АІК-Л

Стенд призначений для виміру характеристик електромагнітного поля (амплітуди і фази) уздовж розкриву антени і для побудови згідно отриманих даних діаграми спрямованості випробуваної антени у досліджуваній площині виміру.

Склад і взаємодія частин стенда розкритий у схемі електричній з'єднань вЮ 2. 741 008 Э4.

**Генератор** виробляє НВЧ сигнал у тому діапазоні частот, у якому працює випробувана антена, він може замінюватися на інший при зміні діапазону.

**Частотомір ЧЗ-54** призначений для візуального контролю за частотою сигналу, що виробляється генератором.

Зонд являє собою електричний диполь із відомою діаграмою спрямованості і призначений для двоспрямованого перетворення напруженості електричного поля в електричний сигнал.

**Вимірювач різниці фаз і відношення рівнів ФК2-18 (ФК2-33 або аналогічний)** порівнює амплітуду і фазу між сигналом, що випромінюється вимірюваною антеною, із прийнятим зондом у визначеній точці простору опорним сигналом.

Блок сТ-ААУ-01 являє собою кросовочний блок, у якому встановлені:

- аналого-цифрові перетворювачі, що перетворюють аналогові значення амплітуди і фази сигналу, що вимірюється в двійковий 12-ти розрядний код;
- субблок ПФК-12. що забезпечує роботу датчика кутових положень 5БВТ-2;
- буферний підсилювач коду положення датчика;
- перемикач, що забезпечує керування електроприводом від ЕОМ або ручного пульта сТ-ААУ-02;
- розніми сполучення ЕОМ з іншими пристроями стенда;
- елементи індикації.

**Електропривод КЕМТОК** виробляє струми живлення електродвигуна відповідно до команд керування (умикання/вимикання, швидкість і напрямок обертання).

**Електродвигун** здійснює за допомогою тросової системи переміщення зонда, встановленого на каретці, що рухається вздовж напрямних сканера.

**Датчик кутових положень 2.5 БВТ-2**, встановлений на шківу тросової системи, подає інформацію про переміщення каретки уздовж осі сканера.

**Сканер вЮ2. 721. 000** - це механічна конструкція, що забезпечує переміщення зонда, встановленого на радіопрозорій каретці уздовж однієї осі координат із заданою точністю.

**Блок сТ-ААУ-02** призначений для керування переміщенням каретки при підготовчих і профілактичних роботах.

**Кінцеві вимикачі** обмежують робоче поле переміщення каретки уздовж сканера.

**Субблок И2ХК154** являє собою 2 двоспрямованих паралельних порти, сполучених із шиною ПК, які використовуються в стенді для вводу даних від АЦП.

**Субблок И2ХК171** сполучає із шиною ПК допоміжний інтерфейс (КОІ), 2 ЦАПа і паралельний порт. Використовується в стенді для формування керуючих сигналів для електропривода, вводу даних від датчика кутових положень і кінцевих вимикачів.

**Блок живлення вЮ2. 087. 134** забезпечує живлення блока СТ аАУ-01.

**ПК** із встановленими в нього субблоками И2ХК154 і И2ХК 171 здійснює прийом вхідних і формування керуючих сигналів по переміщенню зонда, виміру амплітуди і фази сигналів у завданих точках простору площини сканування, розрахунок згідно отриманих даних діаграми спрямованості і вивід результатів у вигляді графіків і таблиць на монітор, в пам'ять ПК або на паперовий носій.

Перед початком вимірів випробувана антена установлюється вище рівня станини сканера уздовж осі сканера. Зонд, що переміщується вздовж каретки, установлюють, дотримуючись площини поляризації таким чином, щоб у процесі руху каретки зонд знаходився в площині випромінювання антени.

Сигнал генератора визначеної частоти подається на ампліфазометр для створення опорного каналу і на випробувану антену. Випроменений антеною сигнал приймається зондом і подається на вимірювальний канал ампліфазометра. Ампліфазометр, порівнюючи сигнали в опорному і вимірювальному каналі, у залежності від застосованого типу приладу, видає в аналоговому або цифровому вигляді інформацію про різницю амплітуд і фаз сигналів в опорному і вимірювальному каналах. Завдяки тому, що сигнал вимірювального каналу проходить тривалий шлях і відповідно має велике загасання, для вирівнювання рівнів сигналів, сигнал опорного каналу зменшують на розмір втрат у вимірювальному каналі. Якщо втрати виявилися настільки великі, що не забезпечується упевнений «захват», то сигнал, що надходить у вимірювальне коло, посилюють

зовнішнім підсилювачем потужності (СТ 2383-00-00-00). При дослідженні антени на прийом сигнал, що передається, подають на зонд.

Інформація про амплітуду і фазу по приладовому інтерфейсу (КОП), через субблок И2ХК171, надходить в ПК. Якщо ампліфазометр має аналоговий вихід (ФК2-18), то дані оцифровуються в АЦП, які встановлені в блоці сТААУ-01, і через субблок И2ХК154 надходять в ПК.

При запуску програми на вимірювання ПК аналізує готовність електропривода і кінцевих вимикачів, після чого видається на електропривод команда вмикання електродвигуна і задається швидкість і напрямок його обертання за допомогою виробітку ЦАПом комірки И2ХК171 керуючого сигналу визначеного рівня і полярності. У результаті цього каретка рухається у висхідне положення. Після спрацювання кінцевого вимикача «нуль координат» ПК починає аналізувати датчик кутових положень. Завдяки тому, що шків, на якому розташований датчик, через трос механічно пов'язаний із кареткою і, відповідно, з зондом, можна, знаючи кутове положення шківів, напрямок і кількість його обертів, однозначно визначити положення зонда щодо початку координат. Каретка починає рухатися в робочому полі сканера.

При досягненні зондом точки простору, обумовленої початковими установками програми, ПК зчитує з ампліфазометра значення амплітуди і фази доти, доки не будуть пройдені всі необхідні точки над розкритом антени.

У процесі руху на монітор виводиться масив обмірюваних даних у вигляді графіків, положення кінцевих вимикачів і готовність електропривода, а також повідомлення про аварійні ситуації.

На цьому режим «вимір» закінчується.

На підставі знань характеристик поля над розкритом антени, довжини хвилі і параметрів зонда, ПК у режимі «обробка» обчислює діаграму спрямованості антени (ДС) і супутні параметри:

- коефіцієнт спрямованої дії;
- ширини ДС на різноманітних рівнях;

- рівні і положення бічних пелюсток.

## **1.9 Інструкція користувачу**

### **1.9.1 Призначення вимірювального комплексу**

Автоматизований вимірювальний комплекс АІК-Л призначений для виконання таких функцій:

- виміри електромагнітного поля в розкриті досліджуваної лінійної антени за допомогою вимірювального зонда шляхом переміщення останнього по лінії, паралельній розкриттю лінійної антени;

- розрахунок характеристик лінійних антен у дальній зоні по обмірюваному амплітудно-фазовому розподілу поля, що випромінюється лінійною антеною методом перерахунку розподілу ближнього поля, яке випромінюється антеною, у характеристики дальньої зони на ПК.

АІК-Л дозволяє визначити форму діаграми спрямованості антени, положення головної пелюстки відносно нормалі до лінії переміщення вимірювального зонда, ширину головної пелюстки за рівнем -3 дБ, рівні бічних пелюсток і їх кутові положення, коефіцієнт підсилення антени у площині, що вимірюється.

АІК-ШЛ призначений для експлуатації в безлунних камерах із коефіцієнтом сумарних відбитків в області переміщення зонда не більш - 25 дБ.

### **1.9.2 Опис лабораторного стенда**

Структурна схема стенда АІК-Л наведена на рис. 1.1.

У режимі ВИМІР стенд АІК-Л здійснює вимір амплітудно-фазового розподілу (АФР) електромагнітного поля випробуваної антени. Лінійний сканер переміщує вимірювальний зонд уздовж антени, сигнал із виходу генератора надходить на вхід ВЧ вимірювача різниці фаз фК2-18. З вимірювального виходу вимірювача різниці фаз фК2-18 сигнал подається на вхід випробуваної антени. Лінійний сканер переміщує вимірювальний зонд уздовж випробуваної антени. Ампліфазометр фК2-18 вимірює відношення амплітуд і різницю фаз

сигналу стосовно опорного сигналу для кожного положення вимірювального зонда, що задається, і передає інформацію про обмірюваний АФР на ПК через блок керування СТ-ААУ-01 і субблок И2ХК154.

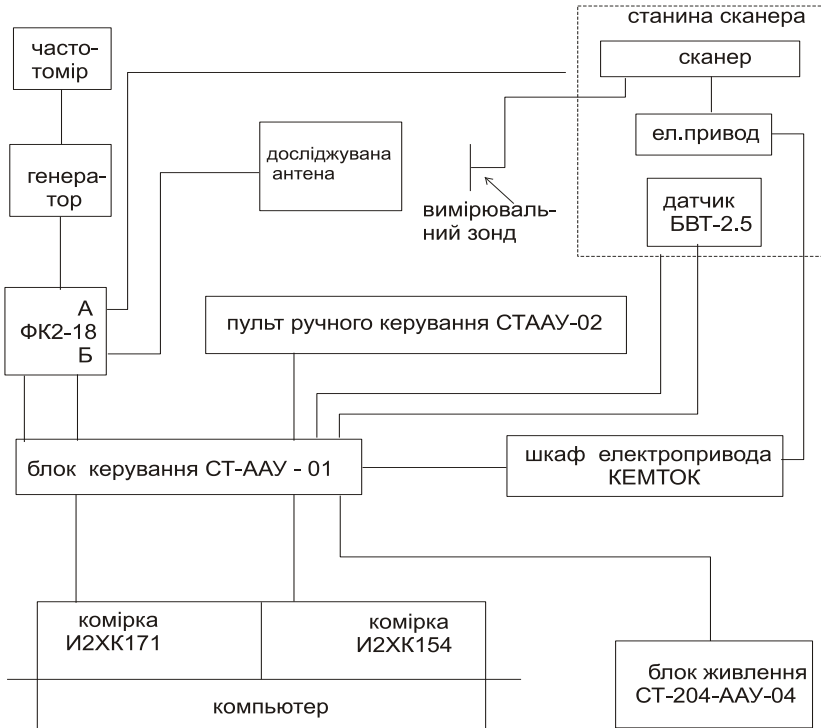


Рис.1.1 – Структурна схема вимірювального станда АІК-Л

При цьому сигнал із виходів АМПЛІТУДА і ФАЗА ампліфазометра фК2-18 подається на два АЦП, розміщені у блоці керування СТ-ААУ-01, де і здійснюється перетворення аналогових сигналів АМПЛІТУДА і ФАЗА у двійковий код. Від блока СТ - ААУ - 01 на ПК надходить інформація про положення каретки сканера і про стан кінцевих вимикачів сканера. Блок керування СТ-ААУ-01 через ПК здійснює керування рухом каретки сканера по завданій ПК програмі. Перемикач ПУЛЬТ/ЕОМ на блоці керування СТ-ААУ-01 здійснює вибір режиму керування рухом сканером, (ручний або від ЕОМ). Блок

ручного керування сТ-ААУ-02 призначений для керування рухом сканера вимірювального зонда в режимі ПУЛЬТ. У ручному режимі перемикач ЛІВО/ПРАВО дає можливість змінювати напрямок руху сканера, ручка ШВИДКІСТЬ призначена для регулювання швидкості руху сканера в ручному режимі.

Керування рухом зонда проводиться за допомогою ЕОМ і шафою електроприводу КЕМТОК, через субблок И2ХК1Т1 і блок сТ-ААУ-01 передається напруга, пропорційна швидкості руху сканера, полярність цієї напруги відповідає напрямку руху сканера. Шафа електропривода КЕМТОК керує двигуном. Інформація про місце розташування сканера надходить із датчика поточної координати БВТ-2.5. Живлення датчика й оцифровку показань здійснює субблок пФК-12. Дані з субблока у вигляді двійкового коду надходять на блок сТ-ААУ-01 і далі в ЕОМ.

### **1.9.3 Підготовка лабораторного стенда і робота на ньому**

1.9.3.1. Зібрати робоче місце у відповідності до структурної схеми стенда АК-Л, приведеної на Рис.1.

Встановити випробувану лінійну антену на технологічний візок симетрично області сканування з точністю 100 мм.

Здійснити встановлення випробуваної антени паралельно осі сканування вимірювального зонда. Послідовно встановлюючи вимірювальний зонд над крайніми елементами випробуваної антени, або крайніми точками екрану випробуваної антени, за допомогою домкратів технологічного візка виставити однакову відстань до вимірювального зонда в цих точках, із точністю у 2 мм. Переміщення сканера з вимірювальним зондом здійснювати за допомогою блока ручного керування в режимі ПУЛЬТ.

1.9.3.2. Включити вимірювальну апаратуру, блок живлення сТ-204-ААУ-04, шафу електропривода КЕМТОК, блок керування сТ-ААУ-01.

Перемикач ПУЛЬТ/ЕОМ на блоці керування сТ-ААУ-01 перевести в положення ПУЛЬТ. За допомогою ручного керування вивести сканер із вимірювальним зондом на центр розкриву випробуваної антени. Встановити відстань від розкриву до вимірювальної антени, що дорівнює 1.5... 3 довжинам хвиль сигналу, що випромінюється випробуваною антеною.

Включити генератор на необхідній частоті в режимі НГ. Виставити рівень потужності на виході генератора на такому рівні, щоб показання індикатора **ОПОРНИЙ РІВЕНЬ** ампліфазометра фК2-18 було в межах 20 - 80 мкА. При натиснутій кнопці 30 дБ на фК2-18 за допомогою вмонтованого аттенюатора встановити на стрілочному індикаторі фК2-16 максимальне значення сигналу в межах 20...26 дБ.

1.9.3.3. Включити ЕОМ і увійти в розділ, що містить пакет програм до стенду АІК-Л. Ввійти в меню вибору режиму роботи стенда АІК-Л. Ввійти в режим ВИМІР. Ввійти в підрежим ВИХІД У О. При цьому сканер починає рухатись в напрямку кінцевого вимикача і зупиняється.

Перед початком виміру параметрів антени необхідно зробити прив'язку положення антени до системи координат вимірювального зонда. Для цього, змінюючи на панелі РЕЖИМУ ВИМІР координату точки виїзду і натискаючи на ПАНЕЛІ кнопку ВИХІД У ТОЧКУ сполучити висхідне положення вимірювального зонду з початком розкриття випробуваної антени. Зафіксувати точку прив'язки, натиснувши на панелі кнопку ФІКСУВАННЯ ПРИВ'ЯЗКИ. Переміщення курсору на екрані ПК здійснювати кнопками напрямку курсору і натисканням кнопок на панелі кнопкою ENTER на комп'ютері.

Вибрати область сканування щодо точки прив'язки. Для цього у вікні завдання параметрів виміру завдати зміщення першої точки виміру відносно точки прив'язки. Завдати крок виміру і кількість точок, у яких проводиться вимір. Вибрати тип вимірювача - фК2-18. Завдати режим руху сканера - безупинний, а також висоту вимірювального зонда над випробуваною антеною.

Після завдання параметрів натиснути на панелі кнопку ВИМІР. У режимі ВИМІР сканер здійснює переміщення вимірювального зонда уздовж розкриття випробуваної антени і робить фіксування амплітуд і фаз сигналу, випромінюваного антеною, що досліджується, в точках вимірювання.

1.9.3.4. Після закінчення роботи в режимі ВИМІР натиснути на панелі кнопку ВИХІД, на панелі меню режимів роботи стенда увійти в режим ПЕРЕГЛЯД АФР. У цьому режимі можна переглянути графічну форму амплітудно-фазового розподілу в точках вимірювання.

1.9.3.5. Здійснити обробку даних, що вимірюються. Для цього на

панелі меню режимів роботи стенда увійти в режим ОБРОБКА. Завдати початок сектора для графіка ДС і кінець сектора для графіка ДС. Натиснути на панелі ОБРОБКА кнопку РОЗРАХУНОК ПО ВИМІРЕНИМ ДАНИМ. Курсор із початком розрахунку зникне і знову з'явиться після закінчення розрахунку. Натиснути на панелі кнопку РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ.

У режимі РЕЗУЛЬТАТИ ОБРОБКИ вибрати для перегляду один із таких режимів:

- графіки АФР;
- графіки ДС;
- таблиці параметрів.

При необхідності вивести на принтер результати вимірів ,натиснути кнопку ДРУК.

### **1.10 Вказівки мір безпеки**

При експлуатації стенда АІК-Лі обслуговуючим персоналом повинні виконуватися вимоги «Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

### **1.11 Контрольні запитання**

1. Технічні характеристики АВК.
2. Розрахунок ДС по АФР методом ДПФ та ШПФ.
3. Визначення ширини ДС за завданням рівнем потужності.
4. Визначення напрямку головної пелюстки ДС.
5. Визначення рівня бічних пелюстків ДС.
6. Визначення коефіцієнта спрямованої дії.
7. Визначення інтегрального фону.
8. Структурна схема АВК.
9. Методика виміру АФР.
10. Підготовка до роботи АВК.
11. Вимірювання характеристик лінійних антенних решіток за допомогою АВК.
12. Міри безпеки при роботі з АВК.

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ПОДІЛЬНИКА ПОТУЖНОСТІ (БПП)

**Ціль роботи:** вивчення принципу дії БПП, освоєння методів виміру електричних характеристик на фрагменті БПП із трьох відбірників потужності.

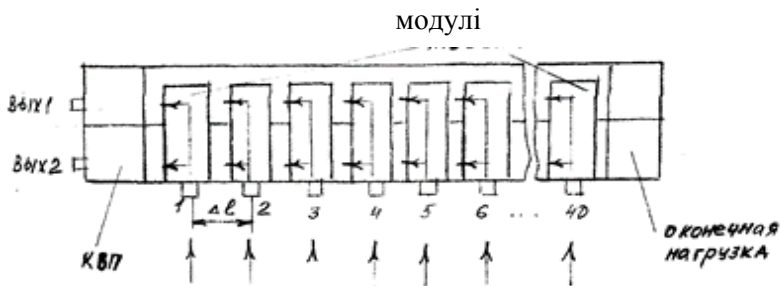
### 2.1 Призначення і функції

БПП призначений для роботи в складі хвилеводних озподільників (рядків) у моноімпульсних ФАР у режимі прийому.

Повномасштабний БПП являє собою магістральний хвилевід, на широкій стінці якого механічно закріплені 40 модулів із зондами зв'язку з хвилеводом, розташовані із кроком 1 (Рис.2.1).

Сигнали від стовпцевих розподільників потужності ФАР надходять на входи "1" - "40" модулів і підсумовуються на виході БПП.

Амплітудний розподіл БПП має вигляд:



від стовпцевих розподільників

Рис.2.1

$$A = \cos(n/2 + \pi * k * l/D) + C$$

де  $k$  - номер моделі;

$D$  - крок розташування зондів зв'язку;

$l = \lambda / 4$ ,

$C$  - постійна, що залежить від втрат у тракці.

С визначає ККД системи. Якщо С розрахована вірно, то потужність, що поглинається кіцевим навантаженням, не перевищує завданого значення. У даному випадку потужність, що поглинається навантаженням, складає 10% потужності, що розподіляється системою. Це продиктовано необхідністю забезпечення амплітудного розподілу в діапазоні частот із заданою нерівномірністю.

Фазовий розподіл БПП є лінійним:

$$\phi = k * I * \pi$$

Для формування сумарного і різницевого сигналів на прийом до складу ФАР входять 4 рядкових БПП. Для зменшення габаритних розмірів і ваги використовуються здвоєні хвилеводи з електричною розв'язкою між хвилеводними каналами не менше 20 дБ.

Канал ▶	"1"-"3"	"1"-"4"	"1"-"5"	"2"-"3"	"2"-"4"	"2"-"5"
Ai, дБ	13±1,0	13±1,0	13±1,0	16±1,0	11±1,0	16±1,0
Φi, град		0			0	

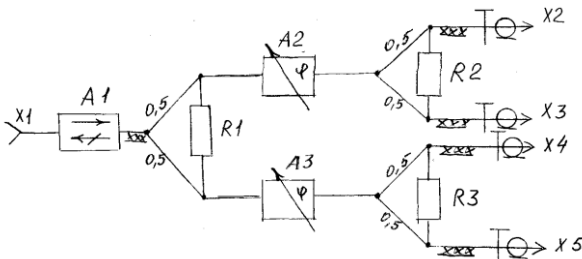


Рис. 2.2-Мікросмушковий модуль

Для вивчення принципу роботи БПП пропонується фрагмент, що складається з

- здвоєного хвилеводу, поз. 1,

- трьох модулів, поз. 2,
- двох здвоєних коаксіально-хвильоводних переходів, поз. 3,
- двох коаксіальних узгоджених навантажень, поз. 4.

## 2.2 Опис роботи модуля

Схема електрична принципова наведена на Рис.2.2.

Прийняті антеною сигнали через стовпцеві розподільники потужності надходять на входи мікропосмужкових модулів X1. У дільнику потужності з розв'язувальним опором R1 сигнал синфазно ділиться порівну і надходить на фіксовані фазообертачі  $\Phi 1$  і  $\Phi 2$ , де формується фазовий розподіл шляхом зміни електричної довжини лінії (див. Рис.2.3).

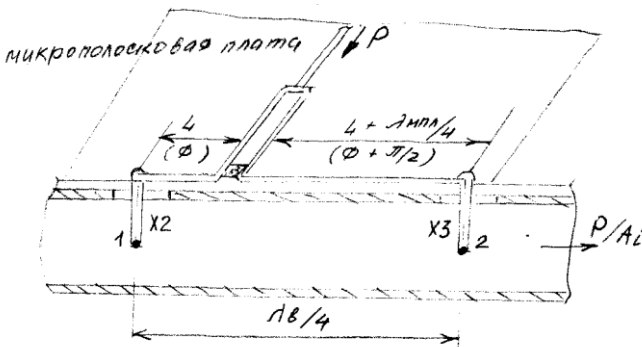


Рис.2.3 – Ескіз двозондового відбірника потужності

Рівноамплітудні подільники потужності з розв'язувальними опорами R2 і R3 мають вихідні плечі різної електричної довжини. Різниця довжин складає чверть довжини хвилі в мікросмужковій лінії ( $\lambda_{\text{мсл}}$ , тобто якщо фазу сигналу в точці 1 прийняти рівною  $\Phi$ , то в точці 2 вона буде дорівнювати  $\Phi + \pi / 2$ ). Пару зондів X2 і X3 розташовано на відстані чверті довжини хвилі в хвильоводі ( $\lambda$  хв) один від одного, тому в точці 1 сигнали складаються в протифазі:  $\Phi + (\Phi + \pi)$ ; а у точці 2 сигнали складаються синфазно:  $(\Phi + \pi / 2) + (\Phi + \pi / 2)$ . Такий двозондовий відбірник забезпечує спрямоване проходження сигналу в напрямку до виходу БПП із завданним перехідним

ослабленням. Крім того, розташовані на відстані чверті довжини хвилі зонди частково компенсують утворювані ними неоднорідності в порожнині хвилеводу. Зонди виконані у вигляді рухомої цанги, що дозволяє змінювати силу зв'язку між модулем та хвилеводом. Зонди розташовані в зоні кругової поляризації хвилі  $H_{10}$ , де відбір потужності є найбільш ефективним. Феритовий вентиль А1 запобігає проходженню сигналу сусідніх каналів із хвилеводу на вхід Х1 модуля, і це забезпечує розв'язку між входами не менше за 25 дБ.

### **2.3 Стислий опис коаксіально-хвилеводного переходу (КХП) і кінцевих навантажень**

КХП являють собою відрізки здвоєних хвилеводів із фланцевим хвилеводним входом і коаксіальним виходом. Повний відбір потужності зон здійснюється в зоні кругової поляризації хвилі  $H_{10}$ . Шляхом зміни глибини занурення зонда в хвилевід досягається максимальне узгодження в діапазоні частот. Ксти ровинен бути не більшим за 1,15.

Коаксіальне навантаження має хвилевий опір 50 Ом, коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі Ксти  $\leq 1.08$ , потужність що поглинається, складає не більше, ніж 0,5 Вт. У якості поглиначка використовується НВЧ резистор С2-106.

### **2.4 Електричні характеристики фрагмента БПП**

2.4.1. Робочий діапазон частот 3 ГГц  $\pm$  100 МГц.

2.4.2. Коефіцієнт стоячої хвилі по напрузі Ксти не більш, ніж

1.3.

2.4.3. Амплітудний ( $A_i$ ) косинусний і фазовий ( $\Phi_i$ ) розподіл лінійний.

### **2.5 Стислий опис методики настроювання БПП**

2.5.1. ФР в основному регулюють у модулях шляхом зміни електричної довжини лінії у фіксованих фазообертачах.

2.5.2. Регулювання повномасштабного БПП полягає в установці необхідних глибин занурення цанг, що входять до складу модулів ИЗЯС13. У результаті регулювання повинні бути отримані перехідні ослаблення і фазовий розподіл у каналах БПП із граничними відхиленнями відповідно до вимог. Цей процес може виявитися тривалим і багатоступінчастим, тому що при зміні глибини занурення зондів і відповідно перехідного ослаблення відбувається зміна електричної довжини (фази) у каналі, що налаштовується; а також паралельно з цим відбувається зміна перехідного ослаблення і фази в наступних каналах. Так, зміна перехідного ослаблення в кожному каналі усього на 0,1 дБ призводить до зміни в останніх п'ятьох каналах ослаблення на 2-3 дБ, фази - на 10-15 град. Крім того, різниця довжин пари зондів більш ніж 0,1 мм призводить до збільшення нерівномірності перехідного ослаблення в діапазоні частот від 0,2дБ до 3 дБ. Вимірювання АР і ФР при регулюванні займає 1 годину, повне вимірювання всіх параметрів у діапазоні частот - 2 години.

2.5.3 При серійному виробництві таких БПП, якщо є статистика глибин занурення зондів у хвилевід і автоматизовано процес обмірювання параметрів, регулювання значно спрощується.

Фазовий розподіл завданий у такий спосіб:

$$\Phi_i = k * i * \pi - 180 / n,$$

де  $\pi$  - кількість півхвиль, що вкладаються в електричну довжину лінії передачі, від вхідних рознімів "3"- "5" до вихідних "1", "2". Центральний канал із входом "4" є опорним, тобто його електрична довжина прийнята такою, що дорівнює 0 градусів.

2.5.4. Потужність, що поглинається навантаженням, дорівнює 5.5дБ.

. Розв'язка між хвилеводними каналами, не менше 20 дБ.

## 2.6 Методика виміру електричних характеристик БПП

2.6.1. Вимір коефіцієнта стоячої хвилі по напрузі Ксти провадиться на робочому місці, схема якого приведена на Рис. 2.5.

Перед виміром Ксти підготовляють вимірювач р2-53\2 відповідно до його інструкції з експлуатації до вимірів у режимі панорамного спостереження. Калібрування вимірювача роблять у діапазоні частот 3 ГГц  $\pm$  100 МГц.

Після калібрування роблять вимір максимального значення Ксти із боку рознімів "1" - "5" у діапазоні частот  $3 \text{ ГГц} \pm 100 \text{ МГц}$ .

2.6.2. Обмірювання амплітудного розподілу БПП роблять на робочому місці, схема якого приведена на Рис. 2.8.

Роблять калібрування вимірювача р2-53 у діапазоні частот  $3 \text{ ГГц} \pm 100 \text{ МГц}$  і вимірюють мінімальне і максимальне значення перехідного ослаблення в каналі "1"- "3" БПП у згаданому діапазоні частот. По черзі підключаючи поз. 2 до входів "4", "5" вимірюють перехідні ослаблення в каналах "1"- "4", "1"- "5"- Аналогічні виміри роблять у каналах "2"- "3", "2"- "4", "2"- "5", підключивши поз. 4 до виходу "2", а поз-2 по черзі до входів "3" - "5".

2.6.3. Вимір потужності, що поглинається навантаженням.

Схема робочого місця приведена на Рис. 2.6. Роблять вимір мінімального і максимального значень перехідного ослаблення у хвилеводному каналі "1"- "7" у діапазоні частот  $3 \text{ ГГц} \pm 100 \text{ МГц}$ . Потім поз. 4 підключають до виходу "2", поз. 2 - до виходу "6" і роблять вимір перехідного ослаблення у хвилеводному каналі "2"- "6".

2.6.4. Вимір розв'язки між хвилеводними каналами. Схема робочого місця приведена на Рис. 2.7. Роблять вимір мінімального значення перехідного ослаблення в діапазоні частот  $3 \text{ ГГц} \pm 100 \text{ МГц}$ .

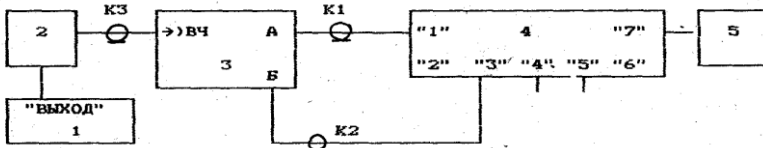
2.6.5. Обмірювання фазового розподілу.

Перед вимірами підготовляють генератор г4-80 і вимірювач фК2-18 до роботи у відповідності з їхніми інструкціями з експлуатації. На генераторі г4-80 установлюють частоту  $3 \text{ ГГц} \pm 0.02 \text{ МГц}$ .

Кабель К1 від входу А вимірювача фК2-18 підключають до входу "4" БПП. Вимірювач фК2-18 включають у режим виміру фази-Змінюючи довжину опорного каналу за допомогою відповідної ручки, роблять калібрування вимірювача фК2-18 на 0 град. При цьому перемикач на фК2-18 установлюється на межу " 6 грд". По черзі підключаючи кабель К1 до входів " 3" і "5", вимірюють фазовий розподіл у каналах "1"- "3", "1"- "5"(Рис.2.4).

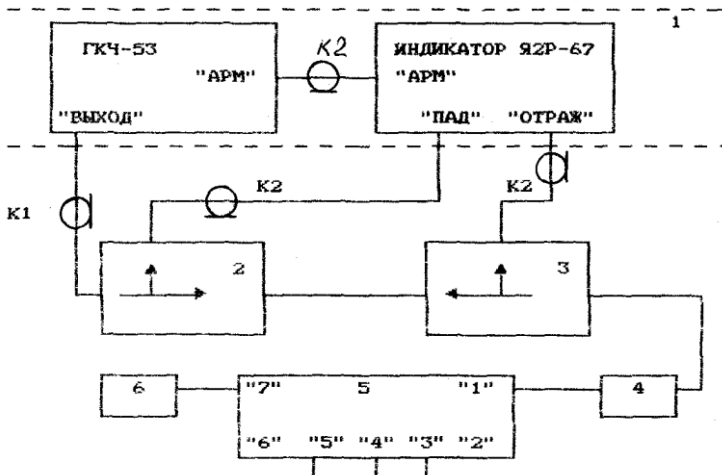
Потім кабель К2 від виходу Б вимірювача фК2-18 підключають до виходу "2", а кабель К1 до входу "4" БПП. Змінюючи довжину опорного каналу роблять калібрування вимірювача фК2-18 на 0 град. По черзі підключаючи кабель К1 до входів "3" - "5" БПП, вимірюють фазовий розподіл у каналах "2"- "3", "2"- "5".

Аналогічні виміри роблять на частотах 2,9 ГГц і 3,1 ГГц.



1. Генератор г4-80
  2. Перехід коаксіальний вимірювальний э2-115\4
  3. Вимірювач різниці фаз фК2-18
  4. Досліджуваний розподільник
  5. Навантаження узгоджене з комплекту р2-53\2
- K1, K2 - кабелі ВЧ із комплекту вимірювача фК2-1В K3- кабель сполучний ВЧ

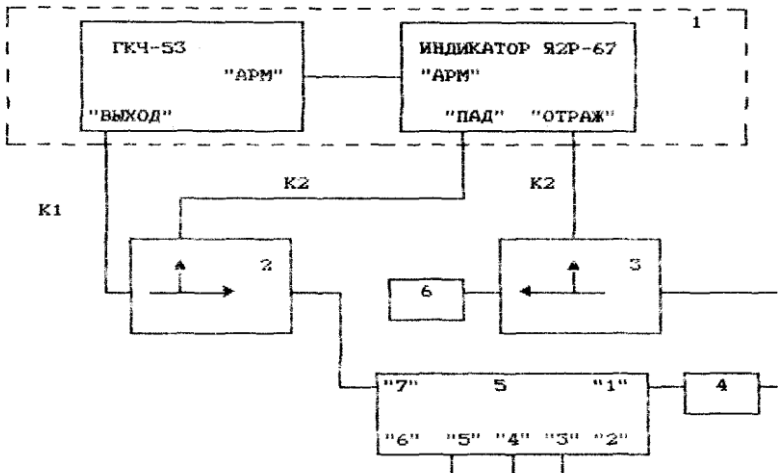
Рис.2.4.Схема робочого місця для вимірювання фазового розподілу



1. Вимірювач КСХН панорамний р2-53\2
2. Спрямований відгалужувач ("штир" - "гніздо") із комплекту р2-53\2
3. Спрямований відгалужувач ("гніздо" - "гніздо") із комплекту р2-53\2

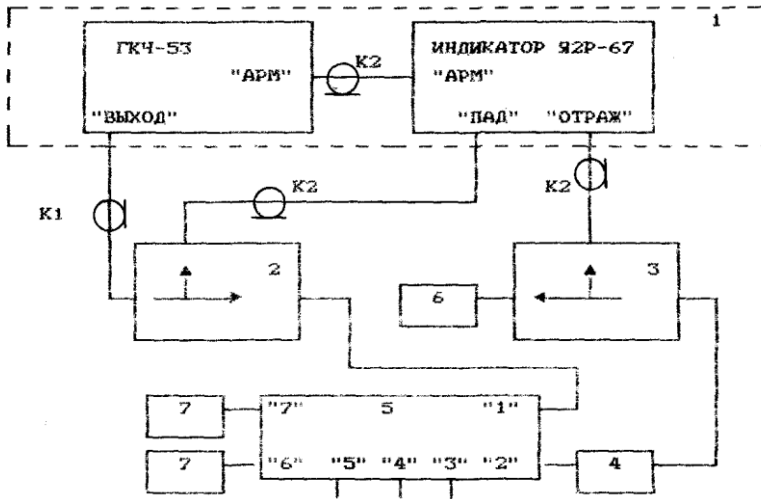
4. Перехід коаксіальний вимірювальний э2-112\1
5. Досліджуваний розподільник
6. Навантаження узгоджене з комплекту р2-53/2  
 К1- кабель сполучний ВЧ із комплекту р2-53/2  
 К2- кабель сполучний ВЧ із комплекту р2-53/2

Рис.2.5.Схема робочого місця для виміру Ксти



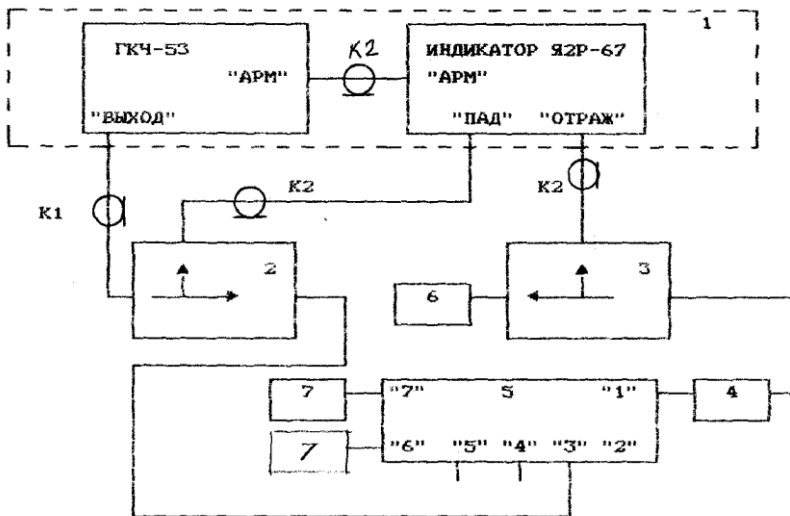
1. Вимірювач КСХН панорамний р2-53Х2
2. Спрямований відгалужувач ("штир" - "гніздо") із комплекту р2-53\2
3. Досліджуваний розподільник
4. Перехід коаксіальний вимірювальний э2-112\1
1. Спрямований відгалужувач ("гніздо" - "гніздо") із комплекту р2-53\2
6. Навантаження узгоджене з комплекту р2-53\2  
 К1 - кабель сполучний ВЧ із комплекту р2-53/2  
 К2- кабель сполучний ВЧ із комплекту F2-53/2

Рис.2.6.Схема робочого місця для виміру потужності, що поглинається навантаженням



1. Вимірювач КСХН панорамний р2-53\2
  2. Спрямований відгалужувач ("штир"-"гніздо") із комплекту р2-53\2
  3. Досліджуваний розподільник
  4. Перехід коаксіальний вимірювальний э2-112\1  
Спрямований відгалужувач ("гніздо"-"гніздо") із комплекту р2-53\2
  6. Навантаження узгоджене з комплекту р2-53\2
  7. Навантаження узгоджене - блок 194ВВ72
- К1- кабель сполучний ВЧ із комплекту р2-53\2  
К2- кабель сполучний ВЧ із комплекту р2-53\2

Рис.2.7.Схема робочого місця для виміру розв'язки між хвилеводними каналами



1. Вимірювач КСХН панорамний р2-53\2
  2. Спрямований відгалужувач ("штир" -"гніздо") із комплекту р2-53\2
  3. Досліджуваний розподільник
  4. Перехід коаксіальний вимірювальний з2-112\1
  4. Спрямований відгалужувач ("гніздо" -"гніздо") із комплекту Р2~53\2
  6. Навантаження узгоджене з комплекту р2-53\2
  7. Навантаження узгоджене - блок 194ВВ72
- К1- кабель сполучний ВЧ із комплекту р2-53/2  
К2- кабель сполучний ВЧ із комплекту р2-53/2

Рис.2.8.Схема робочого місця для виміру перехідного ослаблення

## 2.7 Контрольні запитання

- 1 Призначення і функції БПП.
- 2 Способи відбору потужності із магістрального хвилевода.
- 3 Мікросмужковий подільник потужності: конструкція і принцип дії.
- 4 Конструкція і принцип дії двозондового відбірника потужності.
- 5 Коаксіально-хвильоводні переходи та кінцеві навантаження.
- 6 Методика настроювання БПП.
- 7 Вимір КСХ по напрузі. Схема структурна та техніка вимірювання.
- 8 Обмірювання фазового розподілу поля. Структурна схема та методика.
- 9 Вимірювання потужності, що поглинається у навантаженні.
- 10 Вимір розв'язки між хвилеводними каналами.
- 11 Вимір перехідного ослаблення.

## **3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. ЛІНІЙНИЙ ОПРОМІНЮВАЧ З ЧАСТОТНИМ СКАНУВАННЯМ**

**Ціль роботи:** вимірювання амплітудно-фазового розподілу лінійного опромінювача з частотним скануванням у безлунній камері та чисельне відновлення його діаграми спрямованості.

### **3.1 Призначення, технічні дані, склад**

Досліджуваний опромінювач дзеркальної антени являє собою лінійну приймально-передавальну решітку із частотним скануванням максимуму діаграми спрямованості (ДС) у вертикальній площині, паралельній поздовжній осі.

Решітка має такі технічні дані:

- діапазон робочих частот - 2950...3100 МГц;
- поляризація випромінювання сигналу - горизонтальна;
- блок забезпечує формування ДС на передачу або на прийом у зоні огляду від 6 градусів до 30 градусів;
- ширина ДС у вертикальній площині за рівнем -3 дБ складає 6 градусів;
- рівень перших бічних пелюсток у вертикальній площині не більш 18 дБ;
- рівень коефіцієнта стоячої хвилі по напрुзі зі входу блока не більш, ніж 1,45.

Опромінювач типу лінійної решітки складається з наступних фрагментів:

- хвилеводу змійкового типу, що каналізує;
- 23 сполучених двоканальних подільників потужності юстуючими фазообертачами;
- 46 випромінювачів типу хвилевий канал;
- суцільного металевого екрана.

### **3.2 Принцип роботи**

Для пояснення принципу частотного сканування розглянемо ряд випромінювачів, рознесених на відстань  $d$  (рис.3.1). Положення

хвильового фронту, а отже, положення променя  $\theta$  у просторі, залежить від фазових співвідношень електричних коливань у випромінювачах. Хвильовий фронт являє собою лінію, уздовж якої сигнал, що випромінюється елементом 1, знаходиться у фазі із сигналом елемента 2. Електромагнітна хвиля, що випромінюється елементом 1, проходить у вільному просторі відстань  $d \sin \theta$ , а до елемента 2 електромагнітні коливання проходять додаткову відстань  $S$  у провіднику, що з'єднує обидва елементи. Якщо позначити через  $L$  довжину хвилі у вільному просторі і через  $L_g$  довжину хвилі в провіднику і прийняти, що затримки по фазі будуть рівними в обох каналах проходження сигналу до хвильового фронту, то справедливою буде така рівність:

$$(2\pi/L)*d*\sin(\theta)=(2\pi S)-2\pi N, \quad (1)$$

де  $N$  - ціле число. З цього випливає:

$$\theta=\arcsin(SL/d)*((1/L_g))-N/S). \quad (2)$$

Чим більше шлях проходження сигналів у провіднику в порівнянні з рознесенням елементів у просторі, тим у більшому ступені змінюється кут відхилення променя  $\theta$  у залежності від зміни довжини хвилі (частоти).

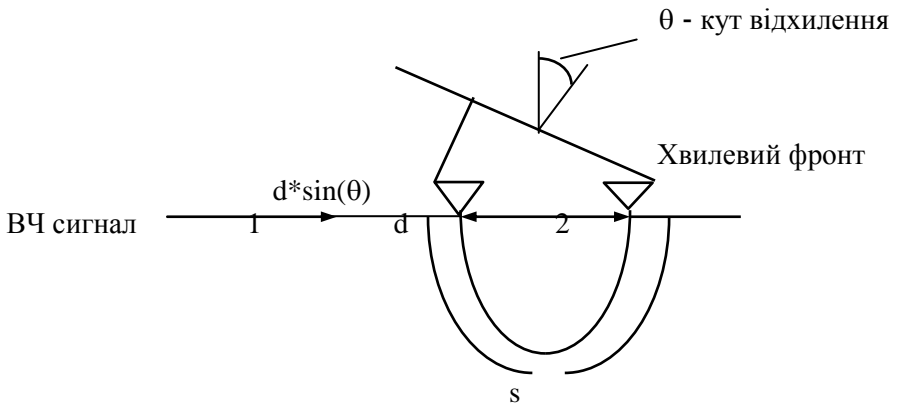


Рис.3.1

Для отримання високої кутової чутливості до відхилення променя в залежності від зміни частоти, лінія передачі, що живить випромінюючий елемент 2, виготовляється звичайно більшої довжини, ніж це потрібно для прямого з'єднання. Таким чином, лінія живлення являє собою по суті лінію затримки або деяку уповільнювальну структуру. Вона може бути виконана у вигляді вигнутої петлеподібної лінії, у вигляді спіралі або мати діелектричне заповнення. У блоці на основі хвилеводу змійкового типу використовується петлева структура, яку звичайно називають змійкоподібною. У антенах, що включають подібну лінію затримки, кут відхилення ДС може змінюватися з високою точністю в залежності від частоти НВЧ коливань генератора. Тому, застосовуючи такі антени в радіодальновимірвальних системах, можна забезпечити огляд простору шляхом зміни частоти сигналів, що випромінюються передавачем. Антени, які працюють на цьому принципі, можуть використовуватися для будь-якого частотного діапазону в сучасних радіодальновимірвальних системах. Ширина основної пелюстки ДС цих антен, обумовлена конкретними вимогами застосування, звичайно знаходиться в межах 0,5...10 градусів у площині сканування. Сектор огляду може бути від 5 градусів до 90 градусів, що досягається змінами частоти в межах 1..... 10 % від несівної.

Для хвилеводу прямокутного перетину справедливий вираз:

$$L_g = L / (1 - (L/2a)^2)^{1/2} = 2 * a * c / (4 * f^2 * a^2 - c^2)^{1/2} \quad (3)$$

де  $a$  - розмір широкої стінки хвилеводу;  
 $c$  - швидкість електромагнітних коливань у вільному просторі,  
 $f$  - частота, що дорівнює  $c/L$ .

Підставляючи вирази (3) у рівняння (2), одержуємо:

$$\sin(\Theta) = (S/2afd) * (4 * f^2 * a^2 - c^2)^{1/2} - Nc/fd \quad (4)$$

Відстань між сусідніми випромінювачами  $d$  повинна бути такою, щоб при скануванні променя в заданому секторі виключалася можливість

появи дифракційних пелюсток (побічних головних максимумів діаграми спрямованості решітки) . Ця умова буде виконана, якщо відстань  $d$  задовольняє співвідношенню:

$$d \leq d_{\max} = (1 - 1/n) / (1 - |\sin(\Theta)|) \quad (5)$$

$$d \leq d_{\max} = (1 - 1/n) / (1 - |\sin(\Theta)|)$$

де  $n$  - кількість випромінювачів у решітці.

Ескіз решітки приведений на Рис. 3.2.

У решітці для формування ДС у площині сканування з необхідною шириною її головного променя за рівнем -3 дБ використовується еквідистантна антенна решітка із 23 випромінюючих елементів, які розташовані над суцільним металевим екраном, і що створюють поле у розкритті опромінювача із лінійним фазовим та амплітудним розподілом, який визначається за наступним законом:

$$f(x) = 0.075 + 0.95 * \cos((\pi/2) * x) \quad (6)$$

де  $f(x)$  - функція розподілу поля в розкритті;

$x$  - нормована координата розкриття.

Використання вищевказаного амплітудного і фазового розподілів поля в розкритті дозволяє створити ДС із мінімальним рівнем бічних пелюсток при заданій ширині ДС.

Для формування ДС у горизонтальній площині з необхідною шириною (близько 68 градусів за рівнем -20 дБ) використовується двоелементна решітка випромінювачів із рівноамплітудним синфазним живленням, яке здійснюється двоканальним подільником потужності. Підстроювання необхідного лінійного фазового розподілу в площині сканування (у розкритті решітки) здійснюються за допомогою юстуючих фазообертачів, що являють собою механічні фазообертачі тромбонного типу. Частотне сканування досягається використанням системи каналізуючого змійкового типу. Відбір потужності (для реалізації необхідного амплітудного розподілу) із змійкового хвилеводу здійснюється зондами, що вводяться через отвори в широкій

стіни хвилеводу. Для збільшення електричної витривалості зонди закорочені на протилежну широку стінку хвилеводу. Для формування вищевказаного розподілу (6) у розкритті блока, необхідний рівень потужності, що відбирається із каналізуючої системи, досягається зміною відстані від центру отвору в центрі хвилеводу, через який вводиться зонд у хвилевід, до вузької стінки хвилеводу, розміром короткозамкнених коаксіальних шлейфів відбірників потужності і геометрією виступів у змійковому хвилеводі в області відбору потужності.

Ескіз змійкового хвилеводу з відбірниками потужності приведений на рис. 3.2.

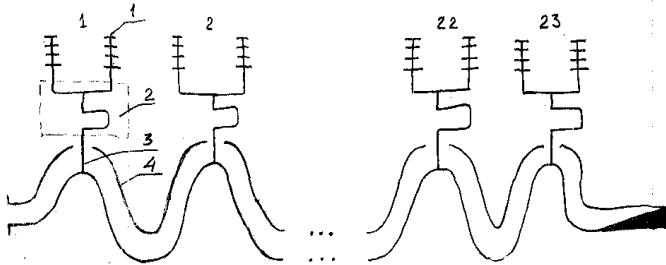


Рис.3.2

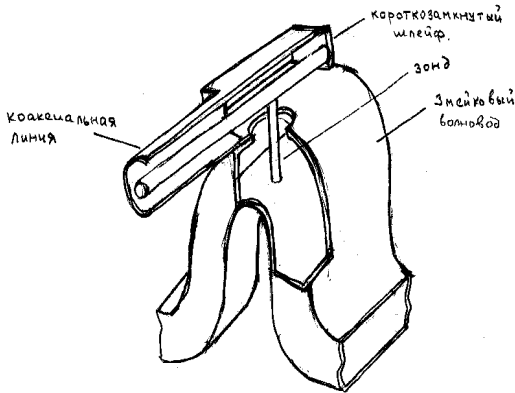


Рис.3.3

### **3.3 Експериментальна частина**

3.3.1 Встановити у белунну камеру досліджувану лінійну антенну решітку і закріпити її.

3.3.2 Підготувати до вимірювань автоматизований вимірювальний комплекс АІК-ШЛ згідно з інструкцією до його експлуатації.

3.3.3 За інструкцією до АІК-ШЛ провести цикл вимірювань амплітудно-фазового розподілу досліджуваної решітки для двох вказаних викладачем фазових законів збудження решітки та відтворити діаграму спрямованості шляхом розрахунків на персональному комп'ютері в системі АІК-ШЛ, оцінити похибки та ступінь достовірності вимірювань.

3.3.4 Побудувати таблиці і графіки виміряних та розрахованих даних на персональному комп'ютері.

### **3 4 Зміст звіту**

3.4.1 Структурна схема вимірювального комплексу АІК-ШЛ.

3.4.2 Дані виміряних амплітудно-фазових розподілів опромінювача.

3.4.3 Відтворені амплітудні діаграми спрямованості лінійної антенної решітки з частотним скануванням.

3.4.4 Оцінка достовірності отриманих результатів.

### **3.5 Контрольні запитання**

1 Типи решіток.

2 Способи сканування діаграм спрямованості.

3 Суть частотного способу сканування ДС.

4 Конструкція і особливості використання змійкового хвилеводу в якості формувача потрібного фазового розподілу поля вздовж решітки.

5 Як отримати високу кутову чутливість лінійної антенної решітки?

6 Конструкція, принцип дії та напрямні властивості елемента випромінювання лінійної решітки.

7 Конструкції та методи розрахунку подільників потужності, що виготовлені за інтегральною технологією.

8 Як формується ДС лінійної решітки у вертикальній та горизонтальній площинах?

9 Відбірники потужності.

10 Роль амплітудного розподілу у формуванні ДС.

11 Роль фазового розподілу у формуванні ДС.

12 Як реалізується необхідний амплітудний розподіл поля?

13 Як реалізується необхідний фазовий розподіл поля?

14 Способи зменшення рівня бічних пелюсток ДС антенних решіток.

15 Узгодження решітки з трактом живлення. Наслідки неузгодження.

16 Як у досліджуваній решітці вирішено проблему збільшення електричної міцності збуджувального пристрою?

17 Способи відновлення ДС за амплітудно-фазовим розподілом поля в розкритті решітки.

18 Джерела похибок вимірювання амплітудно-фазових розподілів, способи їх оцінки, зменшення або компенсації.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бугрова Т.І. Антени спеціального призначення та САПР АСП. Навчальний посібник [Текст]. / Т.І.Бугрова, Л.М.Логачова, Г.В.Мороз. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 200 с.
2. Льницький Л.Я. Антени телекомунікаційних та моніторингових систем: навч. посібник [Текст]/ Л.Я.Льницький, Л.В. Сібрук, П.В.Слободянюк, В.Г.Благодарний. – К., НАУ, 2012. – 240 с.
3. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. [Учебное пособие для вузов] / Д.И.Воскресенский, В.И.Степаненко, В.С.Филиппов, Р.А.Грановская. - 8-е изд., доп. и перераб. - М.: Радиотехника, 2013. - 631с.
4. Методы измерения характеристик антенн СВЧ. [Учебное пособие для вузов] / Под ред. Н.М.Цейтлина. – М.: Радио и связь, 1985.- 368 с.