



Військовий інститут Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Кафедра військово-технічної підготовки

Дисципліна: **ВІЙСЬКОВА ПІДГОТОВКА**

Предмет : **“ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВІЙСЬКОВИХ
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ ”**

**ТЕМА № 14 : ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ЛАНЦЮГІВ З РОЗПОДІЛЕНИМИ
ПОСТІЙНИМИ.**

**для проведення занять з студентами
з спеціальності “Організація метрологічного
забезпечення військ (сил)”**

**Заняття № 1. Вимірювачі параметрів ланцюгів з
розподіленими постійними.**

НАВЧАЛЬНА МЕТА:

- 1. Розглянути характеристики трактів з розподіленими постійними.**
- 2. Надати методи вимірювань коефіцієнта стоячої хвилі по напрузі, модуля і фази коефіцієнта відбиття.**
- 3. Розглянути вимірювачі параметрів трактів з розподіленими постійними, і методи калібрування вимірювачів параметрів ланцюгів з розподіленими постійними.**

1. Характеристики параметрів трактів з розподіленими постійними.

2. Методи вимірювань коефіцієнта стоячої хвилі по напрузі, модуля і фази коефіцієнта відбиття.

3. Засоби вимірювань параметрів трактів з розподіленими постійними.

4. Методи калібрування (півірки) вимірювачів параметрів ланцюгів з розподіленими постійними.

Питання 1.

**Характеристики параметрів
трактів з розподіленими
постійними**

Для передачі високочастотної енергії електромагнітної хвилі на невеликі відстані застосовуються тракти з розподіленими постійними - коаксіальні і хвилевідні лінії.

В коаксіальних лініях має місце замкнуте в зовнішньому циліндрі електричне поле з вектором E , яке направлене по радіусам, і магнітне поле з вектором H , яке направлене по концентричним (відносно внутрішнього провідника) колам.

Із загальної теорії трактів з розподіленими постійними можна зробити висновок, що якщо вздовж тракту розповсюджується електромагнітна хвиля, то комплексні амплітуди складових електричного і магнітного полів E_1 і H_1 незалежно від типу тракту можна представити у вигляді

$$E_1(x) = E_{\text{ПАД}} e^{-j\gamma x} + E_{\text{ВІДБ}} e^{+j\gamma x} \quad (1)$$

$$H_t(x) = H_{\text{ПАД}} e^{-j\gamma x} - H_{\text{ВІДБ}} e^{+j\gamma x} \quad (2)$$

де $E_{\text{ПАД}}$ і $H_{\text{ПАД}}$ - амплітуди падаючих, а $E_{\text{ВІДБ}}$ і $H_{\text{ВІДБ}}$ амплітуди відбитих хвиль на вході НВЧ тракту. Множники $e^{-j\gamma x}$ і $e^{+j\gamma x}$ є комплексна постійна розповсюдження, яка характеризує хвилевідний процес. Величину α називають постійною затухання. Вона дорівнює нулю для ідеального хвилеводу без втрат. В цьому випадку ϵ фазовою постійною, де довжина хвилі в тракті.

Зв'язок між $E_{\text{ПАД}}$ і $H_{\text{ПАД}}$ залежить від типу хвилі, на якій здійснюється переніс енергії. Для різних типів хвиль мають місце наступні співвідношення :

Для хвилі типу E

$$\frac{\dot{A}_{\ddot{I}\ddot{A}\ddot{A}}}{\dot{I}_{\ddot{I}\ddot{A}\ddot{A}}} = \mu \nu_{\ddot{a}\ddot{o}}$$

Для хвилі типу H

$$\frac{\dot{A}_{\ddot{I}\ddot{A}\ddot{A}}}{\dot{I}_{\ddot{I}\ddot{A}\ddot{A}}} = \frac{\nu_{\ddot{a}\ddot{o}}}{\varepsilon}$$

Для хвилі типу TEM

$$\frac{E_{\text{ПАД}}}{H_{\text{ПАД}}} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = Z_0$$

де v_g - групова швидкість розповсюдження в тракті; μ - магнітна проникність; ϵ - діелектрична проникність; Z_0 - хвильовий опір тракту.

Хвильовий опір залежить від виду тракту та його розмірів. Для коаксіальної лінії

$$Z_0 = 13,91 \lg(D / d) \quad (3)$$

де D – внутрішній діаметр зовнішнього провідника ;
 d – діаметр внутрішнього провідника.

Розміри D і d залежать від діапазону частот і рівня потужності в тракті.

У вимірювальній техніці застосовуються розміри ***D*** і ***d*** коаксіальних ліній, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Таблиця 1

<i>D</i>,mm	<i>d</i>,mm	Верхня межа діапазону частот
16,0	6,95	7,5
16,0	4,6	3,0
7,0	3,04	18,0
3,5	1,52	36

На хвилях, які коротші ніж 1 м можливе використання труб прямокутного перетину – хвилеводів.

В хвилеводах розповсюджуються електромагнітні хвилі тільки двох типів:

поперечно-магнітна (TM – або E – хвиля) і поперечно-електрична (TE – або H – хвиля) рис. 1.

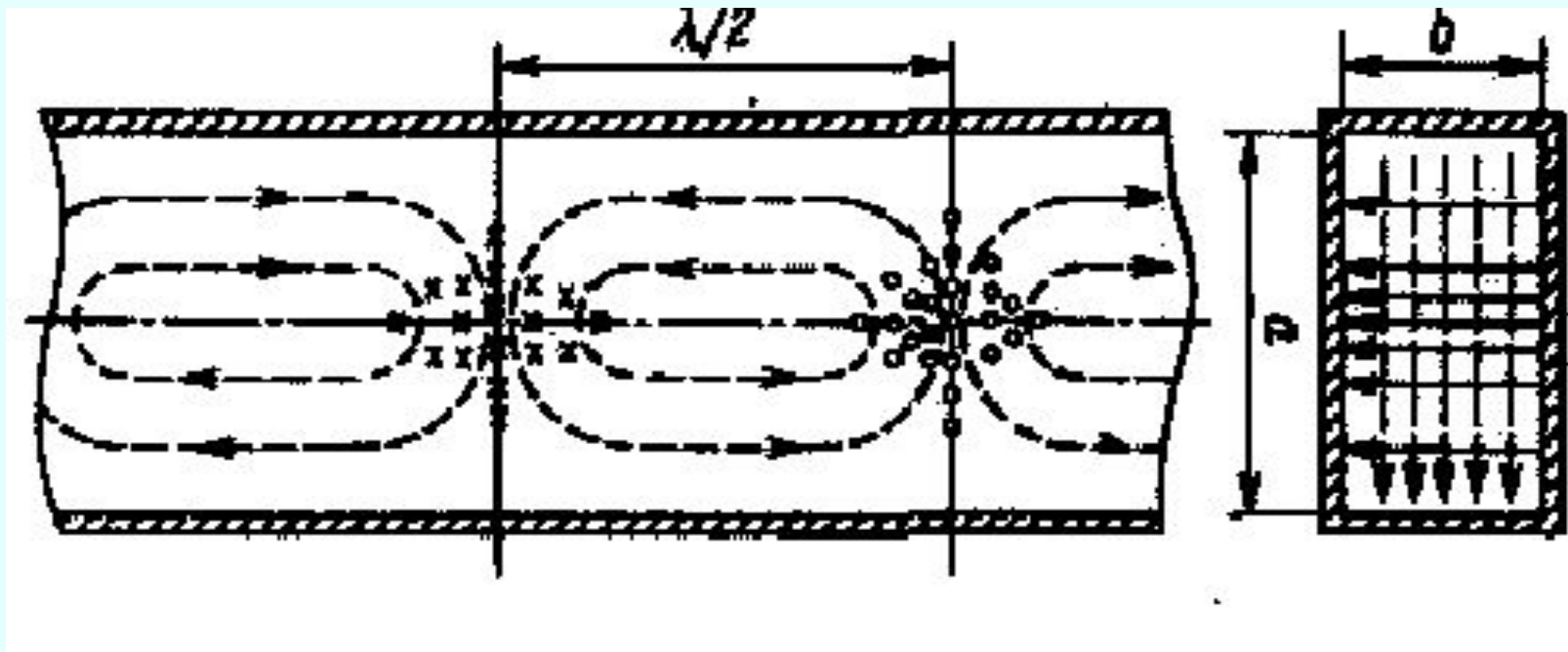


Рис. 1.

Хвилеводи є лініями передачі електромагнітної енергії надзвичайно високих частот (до 400 ГГц). Перевагами хвилевідних ліній перед коаксіальними є менші втрати енергії на поглинання в стінках хвилеводу, можливість передачі великої потужності і відносна простота конструкції.

Формула хвильового опору для хвиль типів E і H має наступний вигляд :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \frac{1}{\sqrt{1 - (\lambda / 2a)}} \frac{b}{a} \quad (4)$$

де a і b – внутрішні поперечні розміри хвилеводу.

Нижче наведені розміри хвилеводів, які дістали застосування в радіовиміррювальній техніці, і відповідні їм частоти.

Внутрішні розміри хвилеводу (a x b), мм	Діапазон Частот, ГГц	Внутрішні розміри хвилеводу (a x b), мм	Діапазон Частот, ГГц
1,6 x 0,8	118,1 – 178,4	23 x 10	8,24 – 12,05
2,4 x 1,2	78,3 – 118,1	28,5 x 12,6	6,85 – 9,93
3,6 x 1,8	53,6 – 78,3	35 x 15	5,64 – 8,24
5,2 x 2,6	37,5 – 53,6	40 x 20	4,8 – 6,85
7,2 x 3,4	25,95 – 37,5	48 x 24	3,94 – 5,64
11 x 5,5	17,44 – 25,95	58 x 25	3,20 – 4,80
13 x 6,5	14,71 – 21,43	72 x 34	2,59 – 3,94
16 x 8,0	12,05 – 17,44	90 x 45	2,14 – 3,20
19 x 9,5	9,93 – 14,71	110 x 55	1,72 – 2,59

Таблиця 2.

Для характеристики якості узгодження опорів в трактах з розподіленими постійними використовують два поняття :

коефіцієнт
відбиття

коефіцієнт
стоячої хвилі

Коефіцієнт відбиття це – відношення комплексних амплітуд відбитої хвилі $E_{\text{ВІДБ}}$ і падаючої хвилі $E_{\text{ПАД}}$.

$$\tilde{A} = \left| \frac{\dot{A}_{\hat{A}^2 \ddot{A} \acute{A}}}{\dot{A}_{\grave{A} \grave{\lambda} \grave{\ddot{A}}}} \right| e^{j\varphi}$$

(5)

де φ – різниця фаз між $E_{\text{ВІДБ}}$ і $E_{\text{ПАД}}$.

Коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) визначається відношенням максимального значення напруги (або струму) до мінімального значення напруги (або струму) вздовж однорідної лінії.

Вздовж лінії за рахунок підсумовування падаючої та відбитої хвиль встановлюється стояча хвиля, тобто напруга (або струм) має максимальне і мінімальне значення рис. 2.

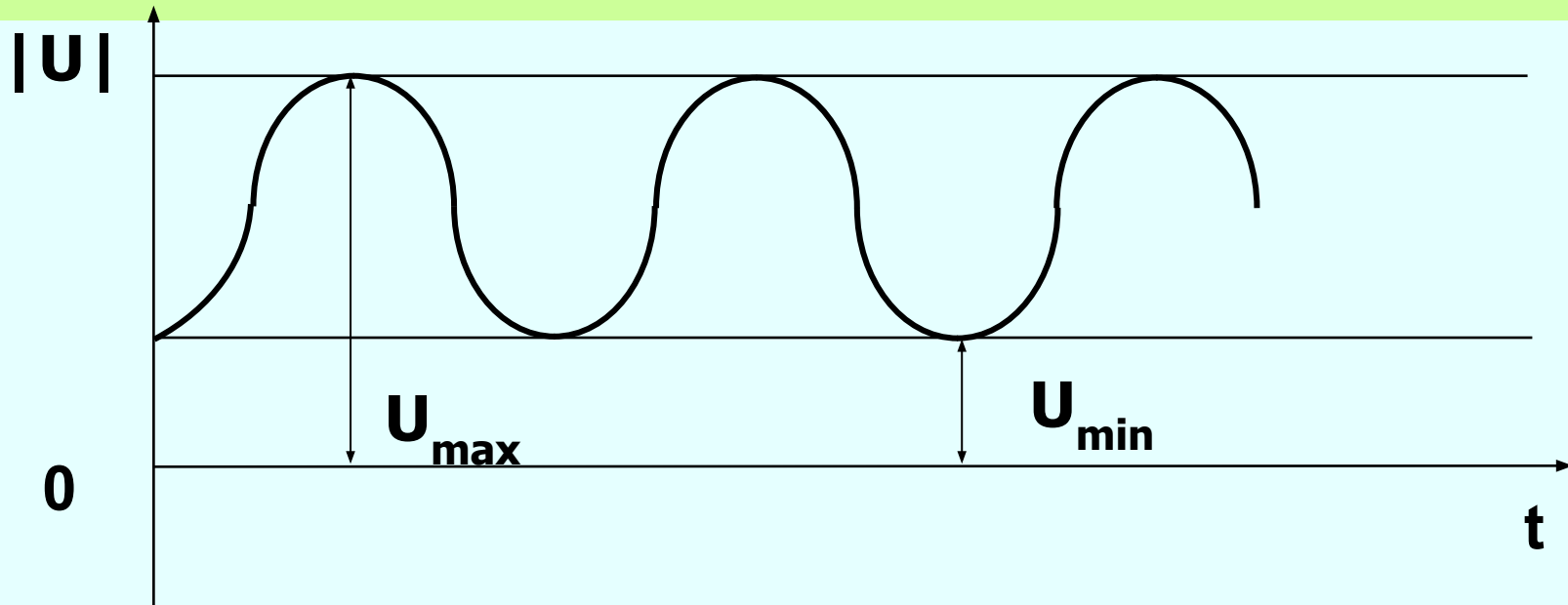


Рис. 2. Розташування стоячої хвилі вздовж лінії

Звідси КСХ визначається як

$$K_{CTU} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{I_{\max}}{I_{\min}} \quad (6)$$

Коефіцієнт відбиття Γ і стоячої хвилі K_{CTU} взаємозв'язані співвідношеннями

$$|\tilde{A}| = \frac{\hat{E}_{\tilde{N}0U} - 1}{\hat{E}_{\tilde{N}0U} + 1} \quad (7)$$

$$K_{CTU} = \frac{1 + |\tilde{A}|}{1 - |\tilde{A}|} \quad (8)$$

де $|\tilde{A}|$ - модуль коефіцієнта відбиття.

Оскільки $|\tilde{A}|$ може змінюватись від 0 до 1 , межами зміни K_{CTU} є 1 і ∞ . При повному відбиттю від навантаження має місце нескінченно великий КСХ, а режим узгодження лінії з навантаженням характеризується КСХ, який рівний 1 .

Поняття КСХ дістало широкого застосування в техніці НВЧ. Великою КСХ користуються для оцінки якості радіоапаратури, її ефективності, для оцінки параметрів НВЧ вузлів.

Питання 2.

**МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ
КОЕФІЦІЄНТА СТОЯЧОЇ ХВИЛІ ПО
НАПРУЗІ,
МОДУЛЯ І ФАЗИ КОЕФІЦІЄНТА
ВІДБИТТЯ**

Найбільш розповсюдженими методами вимірювання коефіцієнта стоячої хвилі, модуля і фази коефіцієнта відбиття є наступні :

**аналіз картини стоячої хвилі
методом рухомого зонду**

**метод, який базується на використуванні
еліптичної поляризації**

**метод, заснований на використуванні
направлених відгалужувачів**

Аналіз картини стоячої хвилі методом рухомого зонду (за допомогою вимірювальної лінії)

На рис. 3 зображені вимірювальна лінія і увімкнення її в тракт.



Рис. 3. Функціональна схема вимірювальної лінії

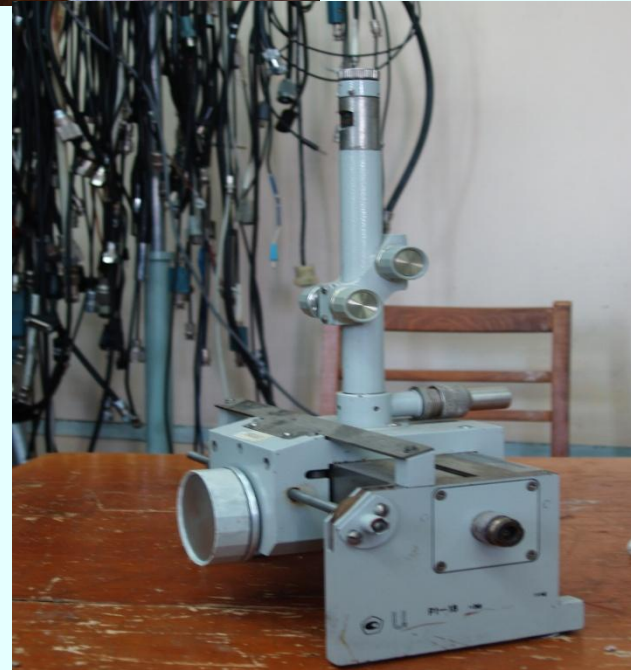
В залежності від значення коефіцієнта стоячої хвилі вимірюваного об'єкту у вимірювальній лінії встановлюється певний розподіл струму і напруги (див. рис.2). За виміряними значеннями U_{max} і U_{min} згідно з (6) визначається КСХ.

Фазу коефіцієнта відбиття $\varphi_{ВІДБ}$ можна визначити, якщо відома відстань між положеннями мінімумів розподілу полів , які одержані послідовно в двох випадках.

В першому випадку вихід лінії закорочений, в іншому випадку лінія навантажена на досліджуваний об'єкт.

Вимірювання коефіцієнта стоячої хвилі і фази коефіцієнта відбиття з використанням еліптичної поляризації

В нижній частині НВЧ діапазону (до 1000 МГц) вимірювання КСХ і фази коефіцієнта відбиття за допомогою вимірювальної лінії утруднене із-за великих габаритів, тому в цьому діапазоні частот більш прийнятний метод, який заснований на використуванні еліптичної поляризації.



Особливістю побудови таких вимірювачів є виконання їх у вигляді трійника, в одне з плеч якого вмикається ємнісне навантаження, рис. 4.

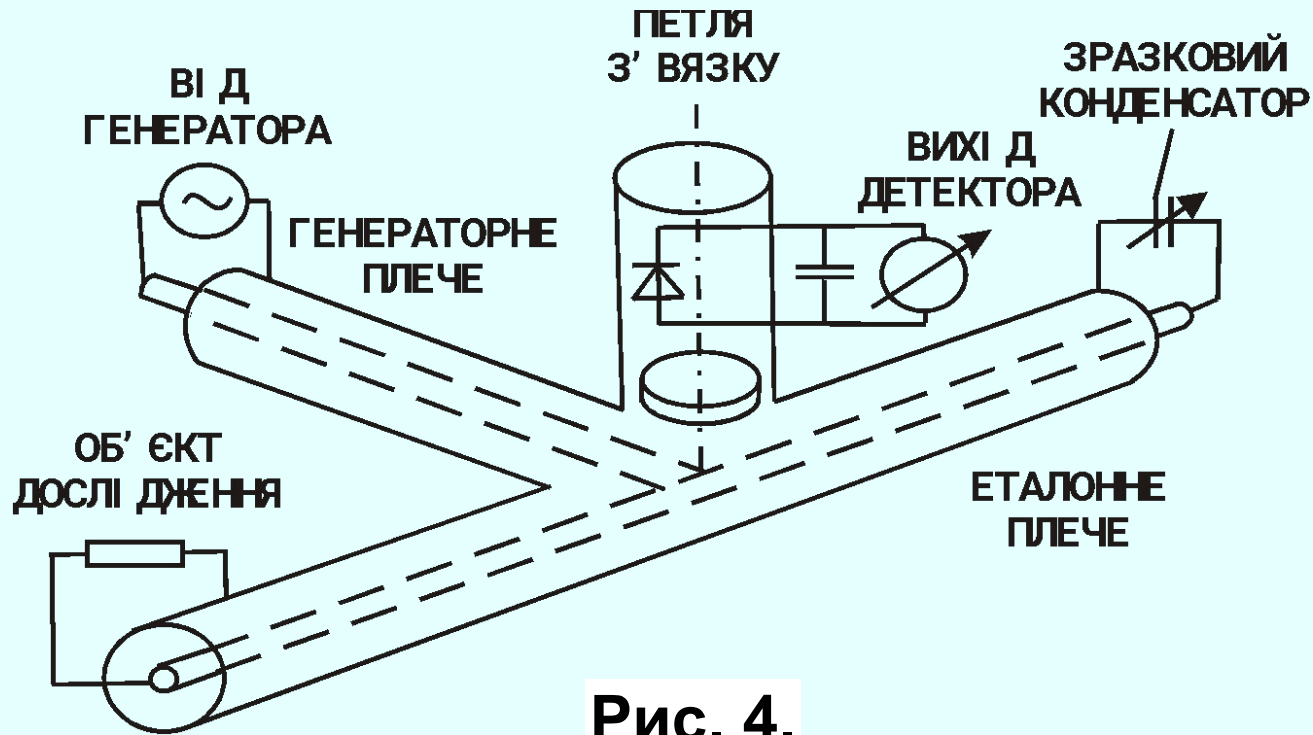


Рис. 4.

В трійнику створюється хвиля з круговою поляризацією.

При увімкненні в одне з плеч неузгодженого навантаження поляризація стає еліптичною. Відношення осей еліпса визначає коефіцієнт стоячої хвилі, а положення осей еліпса фазу коефіцієнта відбиття.

Переваги методу наступні :

відлік фази коефіцієнта відбиття здійснюється безпосередньо в градусах за допомогою лімбу;

відгалужувач кругової поляризації і детекторна головка широкосмугові і не потребують налаштування при зміні частоти;

вимірювачі створені за таким методом, можуть бути вмонтованими в радіоапаратуру і відрізняються простотою в конструкції і зручні в експлуатації.

Метод, який заснований на використуванні двонаправлених відгалужувачів

Цей метод заснований на роздільному вимірюванні значень напруг, які пропорційні падаючій та відбитій потужності у ВЧ тракті.

На рис. 5 наведена структурна схема вимірювання КСХ з двонаправленим відгалужувачем.

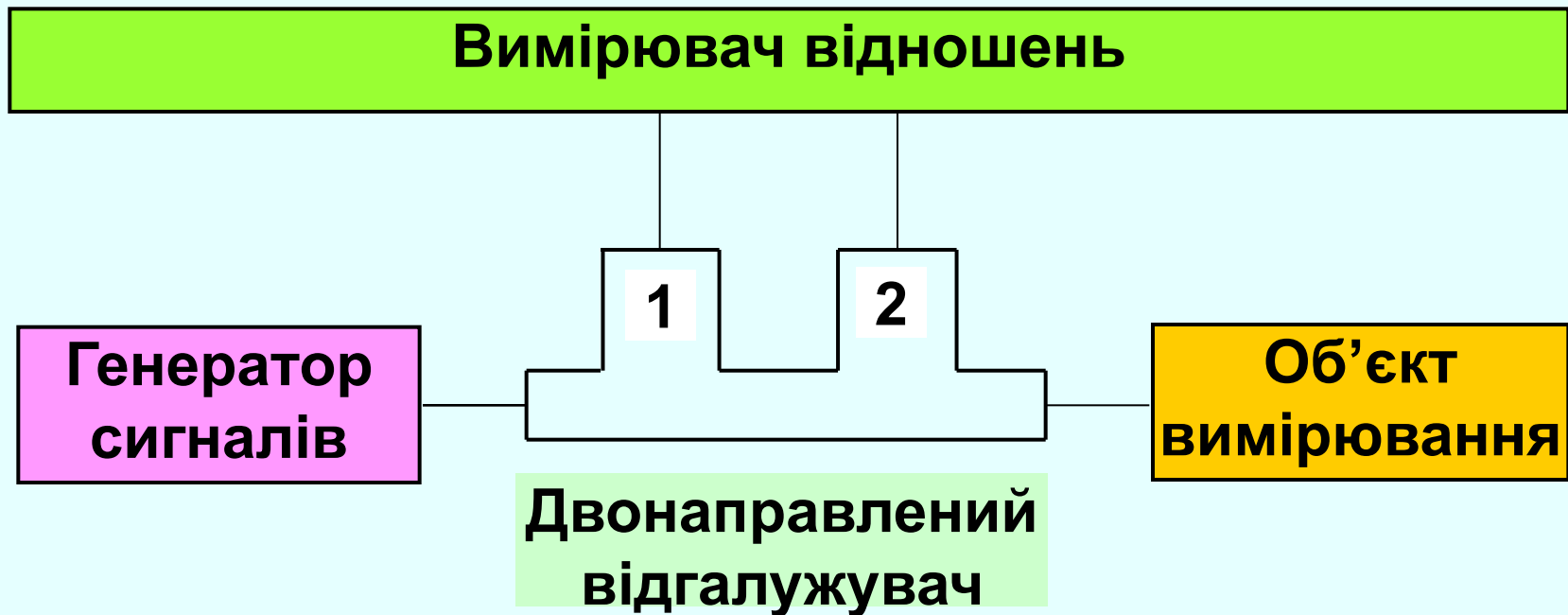


Рис. 4. Структурна схема вимірювання КСХ двонаправленим відгалужувачем

Частина падаючої високочастотної потужності відгалужується в плече 1 направленою відгалужувача і надходить на детектор, а частина відбитої від об'єкту вимірювання високочастотної потужності відгалужується в плече 2 і надходить на інший детектор.

Обидва продетектованих сигнали надходять на вимірювач відношень, де сигнали порівнюються. На вихідному індикаторі відображається відношення напруг, яке пропорційне КСХ високочастотного тракту.

Похибка вимірювання КСХ при цьому методі залежить від значення вимірюваного КСХ, ідентичності перехідних послаблень направлених відгалужувачів і вольт-амперних характеристик детекторів, значення направлених відгалужувачів.

Питання 3

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАНЬ
ПАРАМЕТРІВ ТРАКТІВ
З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПОСТІЙНИМИ

Для вимірювання параметрів трактів з розподіленими постійними застосовуються наступні засоби вимірювань :

лінії вимірювальні (для вимірювання стоячих хвиль в лініях передачі);

вимірювачі повних опорів (для вимірювання модуля і фази коефіцієнта відбиття);

вимірювачі коефіцієнта стоячої хвилі або модуля коефіцієнта відбиття);

вимірювачі комплексних коефіцієнтів передач (для вимірювання модуля і фази коефіцієнта передачі чотирьохполюсників).

Лінії вимірювальні

призначені для вимірювання КСХ, повних опорів, довжини хвилі і інших характеристик хвилевідних і коаксіальних трактів радіопристроїв.

Не дивлячись на різноманітність методів і способів вимірювання КСХ і опорів на НВЧ вимірювальні лінії залишаються основними засобами, які забезпечують абсолютне вимірювання стоячих хвиль.

Сучасні вимірювальні лінії забезпечують високу точність вимірювання параметрів трактів і прості за своєю конструкцією.

Вимірювальні лінії поділяються коаксіальні і хвилевідні.

Коаксіальні вимірювальні лінії перекривають діапазон частот від 500 МГц до 26-40 ГГц і в свою чергу поділяються на щілинні і безщілинні.

Коаксіальні щілинні лінії прості в використанні, однак в низькочастотній частині діапазону вони складні у виготовленні через великі габарити, що пов'язане зі значними технологічними складнощами виготовлення.

Тому в низькочастотній частині діапазону частот для точних вимірювань доцільно застосовувати безщілинні з нерухомим зв'язком, притаманною особливістю яких є постійність зв'язку зонду з полем лінії в процесі вимірювання і відсутність відбиттів від опор і щілин.

Іншою перевагою цих ліній є висока чутливість, що важливо при вимірюваннях малих КСХ.

В якості робочих вимірювачів для вимірювання в низькочастотній частині діапазону частот доцільно застосовувати вимірювачі повних опорів мостового типу, які будуть розглянуті далі.

Коаксіальні вимірювальні лінії зручні в якості еталонів для калібрування і перевірки мір повного опору по причині можливості їх самокалібрування. Коаксіальні лінії найбільш зручні з точки зору зменшення похибок за рахунок власних відбиттів, оскільки вони відтворюють хвильовий опір з найменшими відхиленнями від номінального значення.

Хвилевідні вимірювальні лінії

перекривають діапазон частот від 2,6 до 220 ГГц і вище.

Можуть виконуватись як на окремі перетини хвилеводів, так і комплектами, які складаються з декількох секцій з загальними механічними і індикаторними системами.

До переваг хвилевідних вимірювальних ліній відносяться :

відносна простота виготовлення з'єднувальних фланців;

малі втрати, які дозволяють створювати хвилевідні вимірювальні лінії для субміліметрових хвиль.

До переваг як коаксіальних, так і хвилевідних вимірювальних ліній слід віднести те, що джерела їх похибок визначаються поелементно і при необхідності можуть бути виключені або зменшені за рахунок статистичної обробки результатів вимірювань.

Це в свою чергу дозволяє одержати високу точність вимірювання, не висуваючи особливо жорстких вимог до параметрів вимірювальних ліній.

В радіотехніці використовується ряд вимірювальних ліній, які перекривають діапазон частот від 0,5 до 78,3 ГГц.

Основні характеристики їх наведені в табл. 3.

Таблиця 3.

Тип приладу	Діапазон Частот, ГГц	КСХ власний	Похибка Вимірювання, %	ВЧ Тракт, мм	Габарити, мм; маса, кг
P1-36	1-7,5	1,02-1,04 (в залежності від частоти)	3,2 (до 2 ГГц) 3,5 (до 5 ГГц) 5 (до 7,5 ГГц)	16/7	383x200x220; 8,5
P1-37	1-3	1,02-1,04	5	16/4,6	383x200x220; 8,5
P1-17	0,5-3	1,04	6	7/3	772x250x214; 21,5
P1-18	2-12,5	1,07 (до 10 ГГц) 1,1 (до 12,5 ГГц)	10 (до 10 ГГц) 13 (до 12,5 ГГц)	7/3	368x280x174; 7,5

P1-34	2-18	1,07 (до 10 ГГц) 1,1 (до 18 ГГц)	10 (до 10 ГГц) 13 (до 18 ГГц)	7/3	305x200x220; 6
P1-45	3-18	1,04	6 (до 10 ГГц) 8 (до 18 ГГц)	3,5/1,5	220x220x472; 7,5
P1-19	12,05-17,44	1,02	3	16x8	214x176x134; 2,2
P1-19/1	11,55-16,66	1,02	3	17x8	214x176x134; 2,2
P1-20		1,02	3	23x10	214x176x147; 2,4
P1-21		1,02	3	28,5x12,6	214x176x155; 2,6
P1-12A		1,02	3	7,2x3.4	214x118x76; 2,1
P1-13A		1,02	3	11x5,5	214x176x125; 2,6

P1-13A		1,02	3	11x5,5	214x176x125; 2,6
P1-27		1,03	5	28,5x12,6	214x176x155; 2,5
P1-28		1,03	5	23x10	214x176x147; 2,4
P1-29		1,03	5	16x8	214x176x134; 2,2
P1-30		1,03	5	11x5,5	214x176x118; 2,1
P1-31		1,03	5	7,2x3,4	214x176x118; 2,1
P1-32		1,07	6	5,2x2,6	105x67x95; 1,3
P1-33		1,07	6	3,6x1,8	105x67x96; 1,3
P1-39		1,04	5	5,2x2,6	72x101x89; 0,8
P1-40		1,04	5	3,6x1,8	72x101x89; 0,8

Вимірювачі повних опорів

призначені для вимірювання КСХ і фази коефіцієнта відбиття двополюсників.

Вимірювач це – коаксіальний трійник (рис. 5) симетричні плечі якого навантажені : одне - досліджуваним навантаженням, інше – еталонним конденсатором, реактивність якого дорівнює одиниці на робочій частоті.

До несиметричного плеча трійника надходить сигнал від генератора НВЧ. Над центром трійника встановлюється круглий хвилевід з фільтром.

Такий фільтр пропускає лише хвилі типу *H₁₁* .

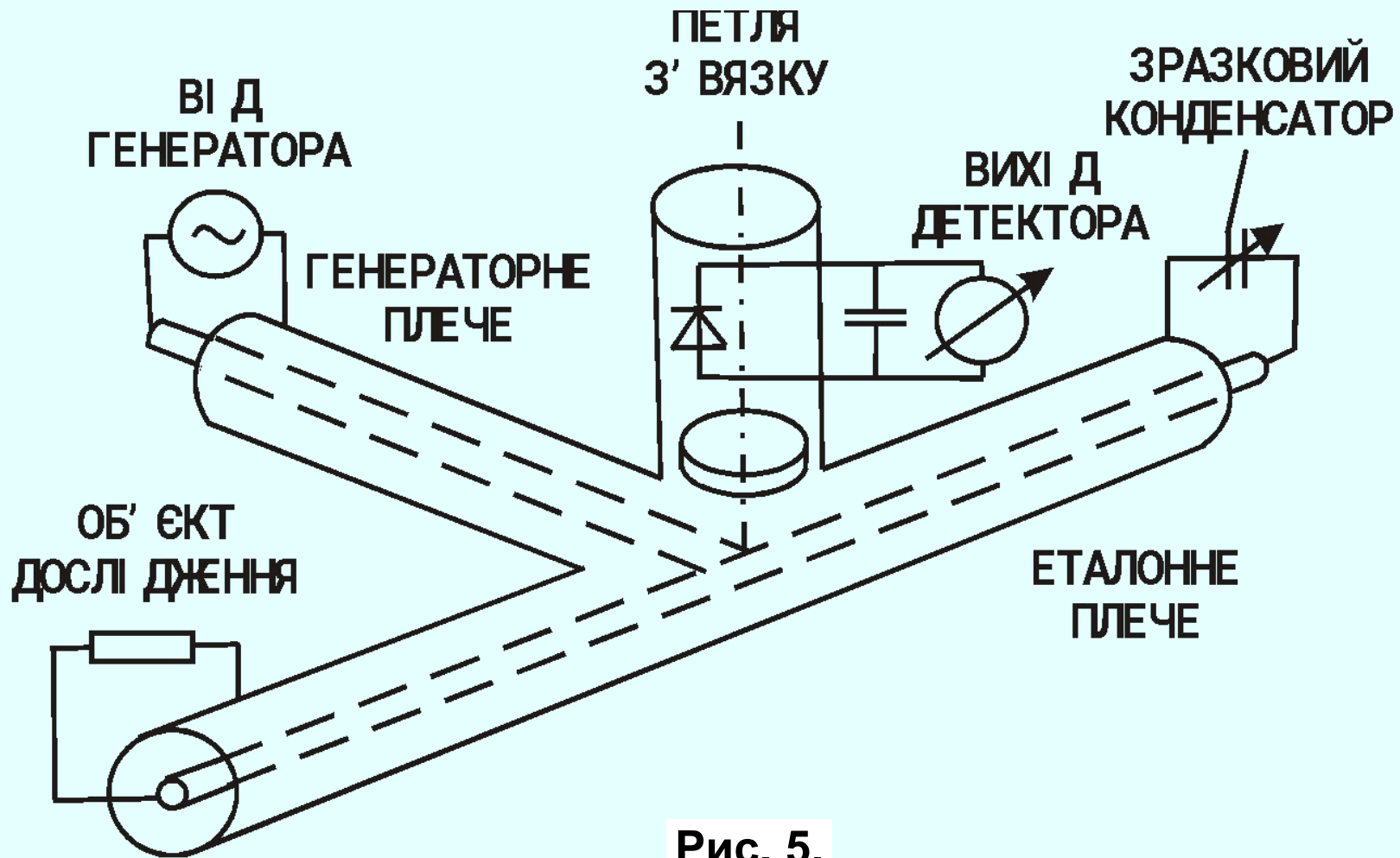
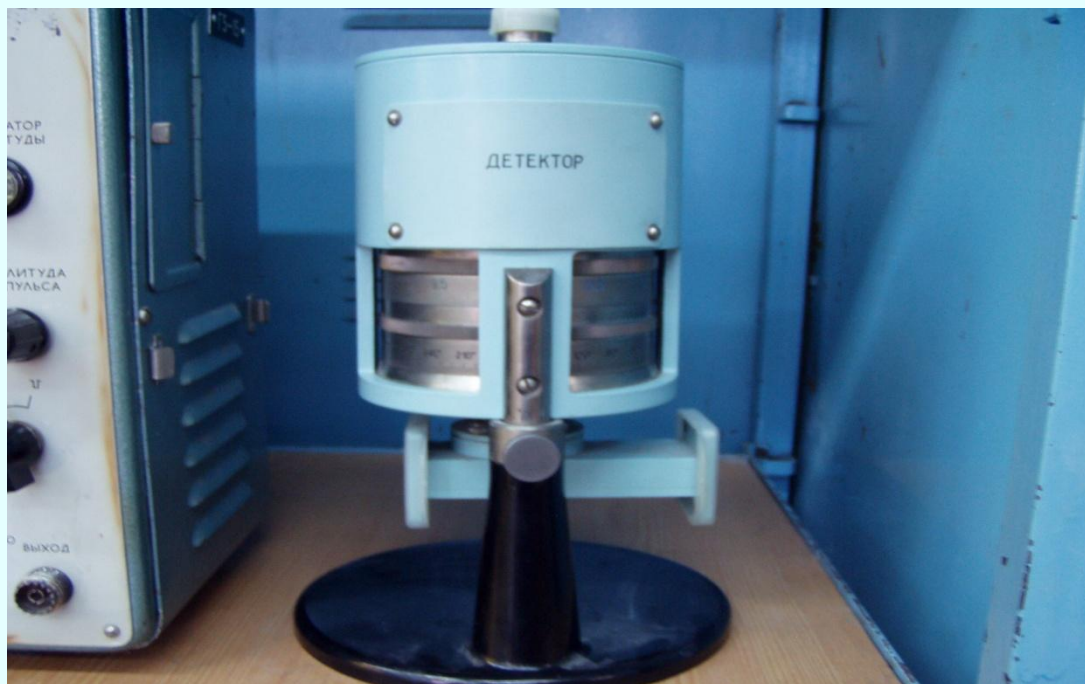
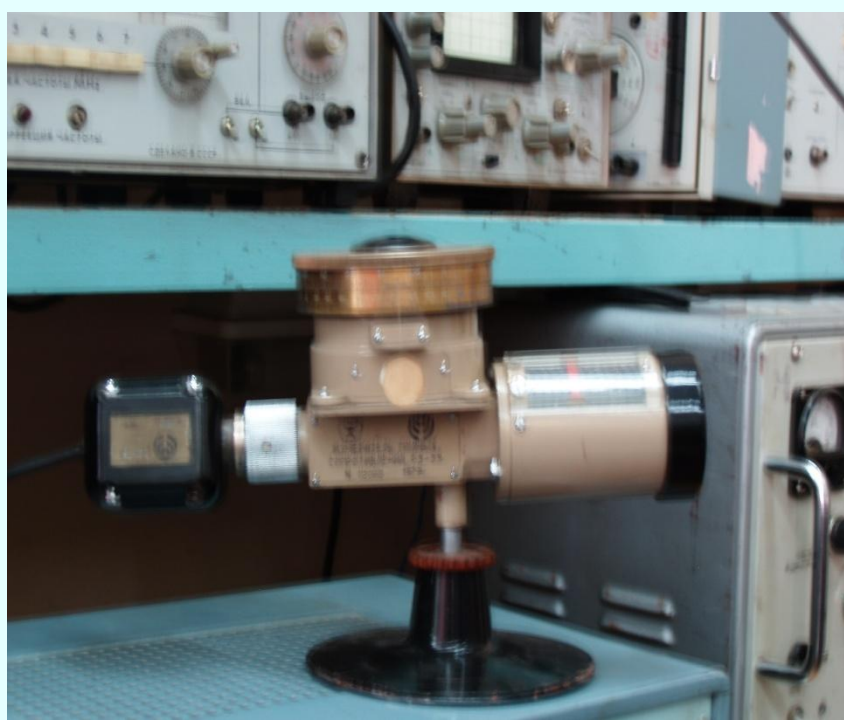


Рис. 5.

Вище фільтра встановлена приймальна петля з детектором, яка вільно обертається для виділення низькочастотної складової.

Відношення максимального і мінімального значень вихідної напруги, яка надходить з петлі, дорівнює квадрату коефіцієнта стоячої хвилі.

Кут між положеннями петлі при певних значеннях вихідних напруг (максимальних або мінімальних) в режимі холостого ходу і при вимірюванні невідомого навантаження дорівнює фазі коефіцієнта відбиття навантаження.



Вимірювачі повних опорів малогабаритні, зручні в використанні, надійні, мають похибки вимірювання КСХ і фази коефіцієнта відбиття, які мало відрізняються в порівнянні з вимірювальними лініями. Але на відміну від вимірювальних ліній вимірювачі повних опорів не потребують підстроювання детекторної камери і при необхідності можуть бути вмонтовані в радіоапаратуру.

Особливо велика перевага їх перед вимірювальними лініями відчутна в нижній частині НВЧ діапазону (до 1000 МГц), де їх габарити і маса значно менші ніж у вимірювальних ліній.

Хвилевідні вимірювачі повних опорів перекривають діапазон частот 1,7-17,44 ГГц і можуть повністю замінити хвилевідні вимірювальні лінії третього класу.

Вони мають похибку вимірювання КСХ $\pm 4\%$ і похибку вимірювання фази коефіцієнта відбиття $\pm 4^\circ$.

На частотах більше 17 ГГц доцільно застосовувати вимірювальні лінії, так як у вимірювачів повних опорів великі розміри детекторних камер в порівнянні з розмірами хвилеводів.

До недоліків вимірювачів повних опорів належить їх низька чутливість, особливо на нижніх частотах.

Основні технічні характеристики вимірювачів повних опорів надані в табл. 4.

Тип приладу	Діапазон Частот, ГГц	Похибка вимірювання		ВЧ Тракт, мм	Габарити, мм; маса, кг
		КСХ, %	фази коефіцієнта відбиття, град		
P3-32	0,02-0,15	7	7	16/7	285x200x130; 3,8
P3-33	0,02-0,15	7	7	16/4,6	285x200x130; 3,8
P3-34	0,15-1,0	7	7	16/7	175x100x70; 2,3
P3-35	0,15-1,0	7	7	16/4,6	175x100x70; 2,3
P3-39	12-16,67	4	4	17x8	265x170x170; 4,2

P3-40	8,24-12,05	4	4	23x10	265x170x170; 5
P3-41	6,85-9,93	4	4	28,5x12,6	265x170x170; 5,5
P3-42	5,64-8,24	4	4	35x15	265x170x170; 6,3
P3-43	4,8-6,85	4	4	40x20	282x144x143; 6,8
P3-44	3,94-5,64	4	4	48x24	297x173x157; 8,8
P3-45	3,2-4,8	4	4	58x25	284x207x157; 9,3
P3-46	2,59-3-94	4	4	72x34	340x248x187; 12,8
P3-47	2,14-3,2	4	4	90x45	390x303x210; 17
P3-48	1,72-2,59	4	4	110x55	450x375x240; 25,5

Вимірювання параметрів за допомогою вимірювальних ліній і мостових вимірювачів повних опорів можливе тільки на фіксованих частотах, що в свою чергу значно збільшує трудомісткість вимірювань і ускладнює опрацювання і налагодження радіоапаратури.

Автоматизація таких вимірювань і створення панорамної вимірювальної техніки збільшує продуктивність і підвищує якість вимірювань, так як дозволяє візуально спостерігати частотну характеристику параметра в широкому діапазоні частот і в зручній формі (осцилографічний індикатор).

Панорамне спостереження амплітудних і фазових характеристик НВЧ пристроїв в широкій смузі частот дозволяє значно скоротити час їх повірки, здійснювати широкосмугове настроювання і ін.

Вимірювачі коефіцієнта стоячої хвилі панорамні

До цієї групи вимірювачів відносяться панорамні вимірювачі КСХ і послаблення, в основі яких лежить рефлектометричний принцип вимірювання, який передбачає виділення падаючої і відбитої від об'єкта вимірювань хвиль і визначення коефіцієнта відбиття за значенням їх амплітуд.

Можливі три варіанти побудови структурної схеми приладів за рефлектометричним принципом :

схема з автоматичним регулюванням потужності (АРП) і індикатором прямого підсилення;

схема без АРП з вимірювачем відношення двох сигналів в якості індикатора;

комбінована схема з АРП і вимірювачем відношення в якості індикатора.

Найбільшого розповсюдження дістала комбінована схема рефлектометра з генератором хитної частоти (ГХЧ), який охоплений системою АРП, і вимірювачем відношення в якості індикатора, яка наведена на рис. 6.

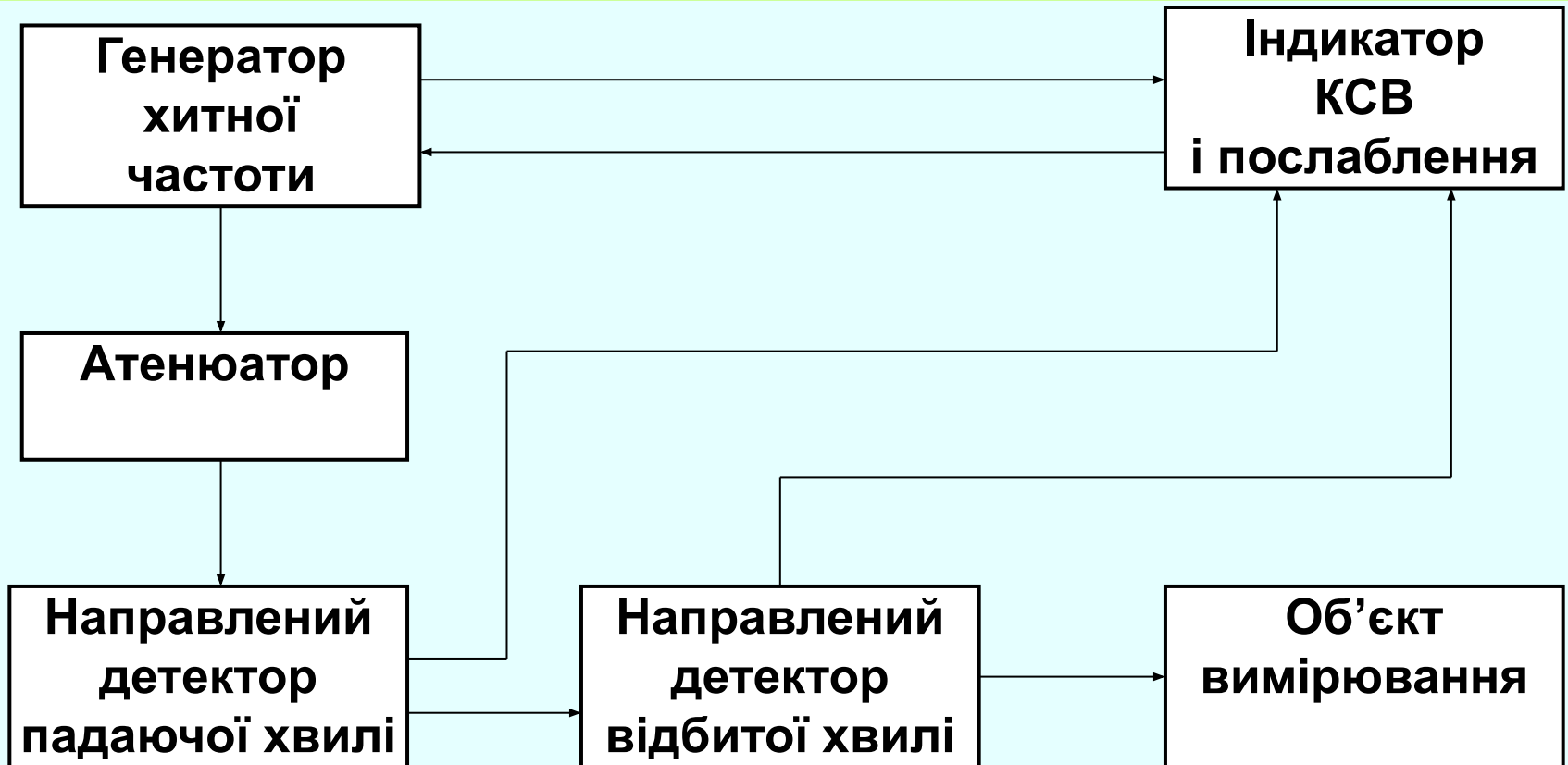


Рис.6.Схема вимірювання КСХ панорамним вимірювачем КСХ і послаблення

Рефлектометр складається з двох направлених відгалужувачів з вмонтованими детекторними головками (направленими детекторами).

Переорієнтація направленою детектора відбитої хвилі забезпечує можливість вимірювання КСХ двох – і чотирьохполюсників (рис. 6), або послаблення чотирьохполюсника (рис. 7).

Вимірювання засновані на виділенні направленими детекторами падаючого на об'єкт дослідження і відбитого від нього (при вимірюванні КСХ) або того, що пройшов через об'єкт дослідження (при вимірюванні послаблення) НВЧ сигналу.

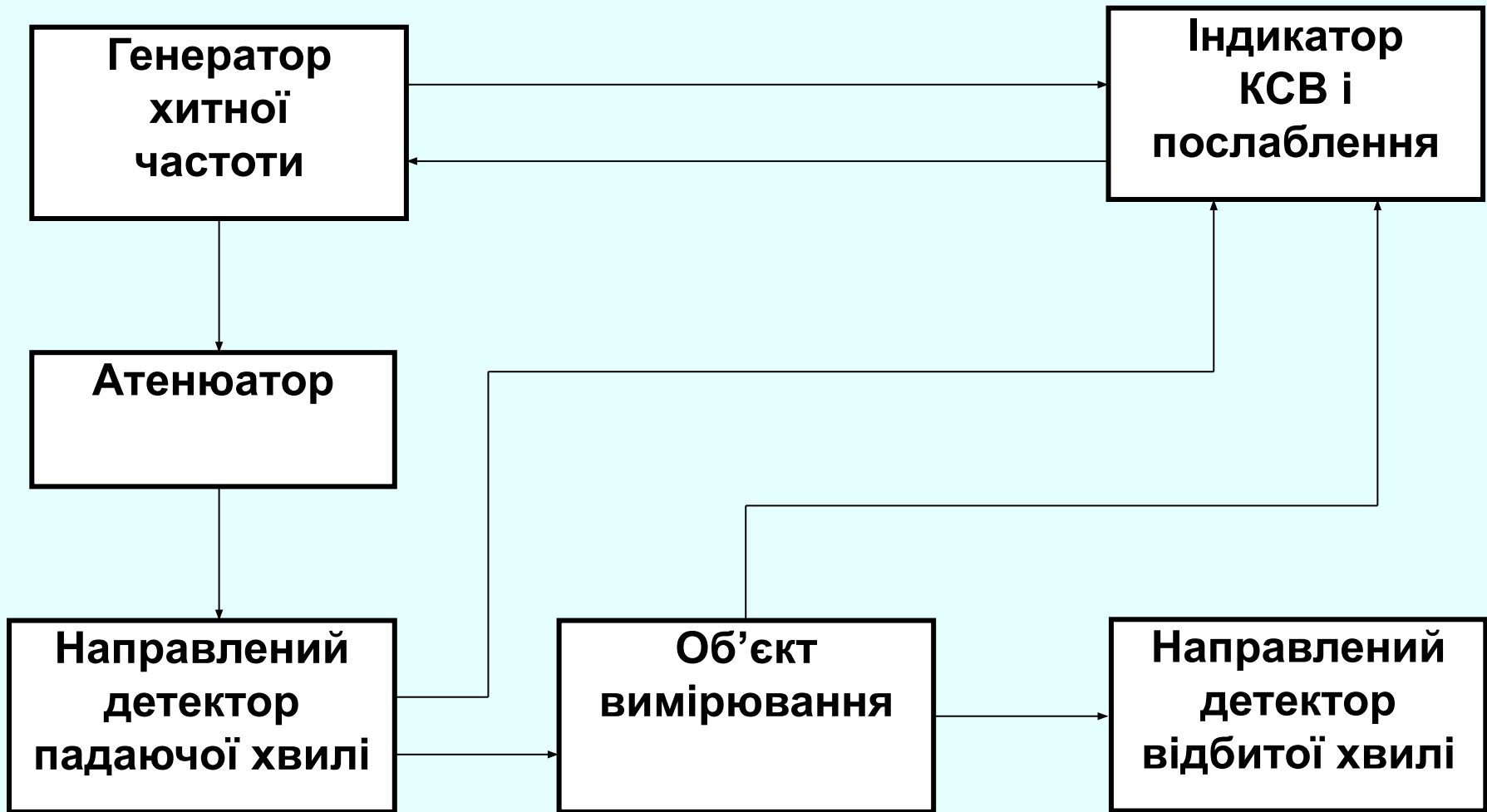


Рис. 7. Схема вимірювання послаблення панорамним вимірювачем КСХ і послаблень



Шкали індикаторів таровані в значеннях КСХ і послаблень і дозволяють здійснювати безпосередній відлік вимірюваної величини.

Коаксіальні панорамні вимірювачі КСХ і послаблення перекривають діапазон частот 20 МГц – 12,4 ГГц, хвилевідні 2,6 – 78,33 ГГц і мають похибку вимірювання КСХ $\pm(5-15)\%$, послаблення $\pm(0,5-2,5)$ дБ.

Основні технічні характеристики деяких панорамних вимірювачів КСХ і послаблень наведені в табл. 5.

Таблиця 5.

Тип приладу <small>Таблиця 5.</small>	Діапазон Частот, ГГц	Межі вимірювання КСХ	Похибка Вимірювання КСХ, %	ВЧ Тракт, мм	Габарити, мм; маса, кг
P2-52	1,07-2,14	1,05-2	4-10	16/7; 16/4; 7/3	ГХЧ 480x475x175; 25 Інд.480x482x175; 20
P2-53	2,0-4,0	1,05-2	4-10	16/7; 16/4; 7/3	ГХЧ 480x475x175; 25 Інд.480x482x175; 20

Питання 4

**МЕТОДИ КАЛІБРУВАННЯ
ВИМІРЮВАЧІВ
ПАРАМЕТРІВ ЛАНЦЮГІВ З
РОЗПОДІЛЕНИМИ ПОСТІЙНИМИ**

Вихідною величиною визначення міри відбиття в трактах з розподіленими постійними і способів її вимірювання є хвильовий опір передавального тракту. В зв'язку з цим еталонами, які встановлюють хвильовий опір трактів, можуть бути еталонні навантаження зі змінною фазою коефіцієнта відбиття. Навантаження це – однорідний з високою точністю виконаний коаксіальний або хвилевідний тракт, вздовж якого переміщується поглинач з заданими КСХ.

Навантаження повинні бути атестовані з похибкою, в 3 рази меншою похибки прилада, який підлягає калібруванню.

Калібрування (повірка) вимірювальних ліній здійснюється поелементним або комплексним методом.

При поелементному методі визначається

власний КСХ лінії, непостійність зв'язку зонду з полем лінії і відносна шунтуюча провідність зонду.

Власний КСХ вимірювальних лінії визначається одним із наведених нижче методів в залежності від наявності засобів повірки :

зміщення вузла за допомогою коротко замкнутого навантаження з змінною фазою;

рухомого навантаження за допомогою неузгодженого навантаження з змінною фазою;

зв'язаного навантаження за допомогою узгодженого навантаження з змінною фазою.

Для забезпечення визначення власного КСХ вимірювальної лінії будь яким з цих методів і інших параметрів ліній до комплекту ліній, як правило входять необхідні навантаження.

Максимальна похибка вимірювання хвилевідних і коаксіальних ліній визначається за допомогою формули

$$\Delta_k = 1,7\sigma_{\Sigma k} \quad (9)$$

де

$$\sigma_{\Sigma k} = \sqrt{\sum_{k=1}^3 \sigma_{ik}^2}$$

середньоквадратична похибка вимірювання КСХ

σ_{ik} – складова похибки при вимірюванні КСХ (похибка за рахунок власного КСХ, непостійності зв'язку зонду з полем лінії, індикаторного приладу).

Повірку хвилевідних вимірювальних ліній при експлуатації і зберіганні здійснюють комплексним методом за допомогою еталонів хвилевідних навантажень з змінною фазою коефіцієнта відбиття і з КСХ близьким 2, похибка атестації яких в 3 рази менша похибки вимірювальних ліній, які підлягають повірці.

При повірці цим методом здійснюються вимірювання КСХ навантаження і вибирається таке значення $K_{\text{СТУ (ВИМ)}}$, яке найбільш відрізняється від паспортного значення КСХ навантаження.

Похибку вимірювання КСХ визначається за допомогою формули

$$\delta K_{\tilde{N}OU} = \pm \frac{K_{\tilde{N}OU(\hat{A}\hat{E}\hat{I})} - K_{\tilde{N}OU(\hat{A}\hat{O})}}{K_{\tilde{N}OU(\hat{A}\hat{O})}} \cdot 100\% \quad (10)$$

де $K_{СТU(ЕТ)}$ - паспортне значення КСХ еталону навантаження.

Повірка вимірювачів повних опорів здійснюється за допомогою еталонів повних опорів (з нормованим значенням КСХ і фази коефіцієнта відбиття).

Еталон під'єднується до виходу вимірювача повних опорів, і здійснюється вимірювання КСХ і фази коефіцієнта відбиття.

При проведенні повірки еталон під'єднується 4-5 разів до вимірювача, який повіряють, і вибирається значення КСХ і фази коефіцієнта відбиття, яке найбільш відрізняється від даних, які наведені в НТД.

Похибка вимірювання КСХ, % визначається за формулою (10).

Похибку вимірювання фази коефіцієнта відбиття обчислюється за формулою

$$\Delta\varphi = \pm |\varphi_{\hat{E}I} - \varphi_{AO}|^{\circ} \quad (11)$$

При відсутності еталонів повних опорів допускається визначення похибки вимірювання КСХ і фази вимірювачів по еталонам КСХ і фази.

Повірка панорамних вимірювачів КСХ здійснюється шляхом вимірювання еталонних навантажень з номінальним значенням КСХ 1,2 і 2,0, які атестовані на трьох частотах робочого діапазону, включаючи крайні.