

МІНІСТЕРСТВ<u>О ОСВІТИ І НА</u>УКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА

Кафедра технічної електродинаміки та систем радіозв'язку

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

## «Вимірювання КСХН та коефіцієнтів передачі мікрохвильових пристроїв на основі панорамного вимірювача РК2-47»

з дисципліни «Радіовимірювальні пристрої мікрохвильового діапазону»

для студентів денної та заочної форм навчання навчально-наукового інституту радіо, телебачення та інформаційної безпеки

# Рецензенти: професор кафедри ТЕД та СРЗ, д.т.н., проф. Цалієв Т.А., доцент кафедри ТЕД та СРЗ, доц. ОНАЗ Бойко М.П.

Вимірювання КСХН та коефіцієнтів передачі мікрохвильових пристроїв на основі панорамного вимірювача РК2-47: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Радіовимірювальні пристрої мікрохвильового діапазону"/ Укл. М.Б. Проценко, М.С. Гринь. – Одеса: Вид-во ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2014. – 67 с.

Метою методичних вказівок є допомога студентам при вивченні пристрою і принципу дії панорамного вимірювача РК2-47, методів його використання для дослідження частотних характеристик КСХН та коефіцієнтів передачі мікрохвильових пристроїв в рамках лабораторного практикуму, надання основних етапів проведення лабораторної роботи й особливостей оформлення результатів дослідження у звітному протоколі

Методичні рекомендації призначені для студентів денної та заочної форм навчання навчально-наукового інституту радіо, телебачення та інформаційної безпеки.

Методичні вказівки схвалено на засіданні кафедри технічної електродинаміки та систем радіозв'язку і рекомендовано до друку.

(протокол № 2 від 8 жовтня 2014 р.)

Затверджено методичною радою академії зв'язку (протокол № 10/14 від 04.07 2014 р.)

## **3MICT**

1 Цикл лабораторних робіт «Вимірювання КСХН та коефіцієнтів	
передачі мікрохвильових пристроїв на основі панорамного	
вимірювача РК2-47»	4
1.1 Мета робіт	4
1.2 Загальні вимоги до виконання лабораторних робіт	4
1.3 Ключові положення	4
1.4 Ключові питання для допуску до лабораторних робіт	11
1.5 Зміст звіту	12
2 Лабораторна робота «Вимірювання частотної залежності КСХН»	13
2.1 Домашнє завдання	13
2.2 Лабораторне завдання	14
2.3 Питання до захисту лабораторної роботи	14
3 Лабораторна робота «Вимірювання коефіцієнта	15
передачі (послаблення)»	
3.1 Домашнє завдання	15
3.2 Лабораторне завдання	16
3.3 Питання до захисту лабораторної роботи	16
Рекомендована література	17
Додаток А. Інструкція з експлуатації панорамного	
вимірювача РК2-47	18
А.1 Підготовка до проведення вимірювання КСХН	18
А.1.1 Підготовка до панорамного вимірювання КСХН	20
А.1.2 Підготовка до вимірювання КСХН на фіксованій частоті	21
А.2 Проведення вимірювань КСХН	22
А.2.1 Панорамне вимірювання КСХН	22
А.2.2 Вимірювання КСХН на фіксованій частоті	23
А.3 Підготовка до проведення вимірювань коефіцієнта передачі	23
А.3.1 Підготовка до панорамного вимірювання	
коефіцієнта передачі	25
А.3.2 Підготовка до вимірювання коефіцієнта передачі	
на фіксованій частоті	26
А.4 Проведення вимірювань коефіцієнта передачі	27
А.4.1 Панорамне вимірювання коефіцієнта	
передачі (послаблення)	27
А.4.2 Панорамне вимірювання коефіцієнта	
передачі (посилення)	28
А.4.3 Вимірювання коефіцієнта передачі	
на фіксованій частоті	29
А.5 Робота в логарифмічному режимі	32
Додаток Б. Титульний лист установленого зразка	33
Додаток В. Вихідні дані для виконання	
домашніх і лабораторних завдань на 2014/15 навч. рік	34

## 1 ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ «Вимірювання КСХН та коефіцієнтів передачі мікрохвильових пристроїв на основі панорамного вимірювача РК2-47»

## 1.1 Мета робіт

Метою лабораторної роботи є знайомство з пристроєм і принципом дії панорамного вимірювача РК2-47, вивчення методів його використання для дослідження частотних характеристик КСХН входу антен і мікрохвильових пристроїв.

## 1.2 Загальні вимоги до виконання лабораторних робіт

Зміст виконуваних лабораторних робіт повинен бути попередньо вивчений із залученням теоретичного матеріалу з лекційного курсу та відповідної літератури.

Лабораторні роботи виконується бригадами у складі 2 – 4-х студентів, кожен з яких виконує своє індивідуальне завдання.

Звіт складається кожним студентом і захищається в індивідуальному порядку.

Вихідні дані для виконання завдань досліджень вибираються кожним студентом індивідуально відповідно до передостанньої *m* та останньої *n* цифрами номера залікової книжки згідно з вихідними даними (див. Додаток В).

## 1.3 Ключові положення

Вимірювач коефіцієнта стоячої хвилі за напругою (КСХН) та послаблення панорамний РК2-47 (див. рис. 1.1) призначений для вимірювання КСХН елементів коаксіальних трактів і коефіцієнта передачі коаксіальних чотириполюсників. Прилад працює на малому рівні потужності та дозволяє вимірювати коефіцієнт передачі (послаблення та підсилення) активних елементів.

Прилад може застосовуватися в лабораторних і цехових умовах, а також в ремонтних майстернях та перевірних органах.

## Устрій та принцип роботи панорамного вимірювача РК2-47

Конструктивно прилад виконаний в настільному варіанті. До складу приладу входять наступні основні блоки і вузли:

– індикатор КСХН та послаблення Я2Р-67;

– генератор хиткої частоти (ГХЧ);

- вимірювальні НВЧ вузли.



Рисунок 1.1 — Зовнішній вигляд панорамного вимірювача РК2-47

З вузлів і блоків збираються необхідні схеми вимірювань.

Шкали індикатора градуйовані в значеннях КСХН та в значеннях послаблення (в децибелах), що дозволяє виробляти безпосередній відлік вимірюваної величини.

Вимірювання КСХН засноване на тому, що відношення НЧ сигналів на виходах мостового рефлектометра пропорційно квадрату модуля коефіцієнта відбиття досліджуваного об'єкта, підключеного до входу « $Z_X$ » рефлектометра.

Послаблення вимірюється детектуванням НВЧ потужності на вході та виході досліджуваного чотириполюсника та виміром відношення отриманих сигналів. Посилення вимірюється комбінованим методом, що поєднує вимір відношення НЧ сигналів і заміщення на НВЧ.

#### Режими роботи панорамного вимірювача РК2-47

Вимірювач РК2-47 може працювати в наступних режимах:

Панорамного вимірювання КСХН та коефіцієнта передачі. При роботі в цьому режимі прилад калібрується в усьому діапазоні робочих частот, а досліджувана характеристика КСХН або коефіцієнта передачі спостерігається в бажаному частотному діапазоні. Режим рекомендується при настроюванні та регулюванні НВЧ вузлів і антен.

**Вимірювання КСХН і коефіцієнта передачі на фіксованій частоті**. При роботі в цьому режимі прилад калібрується на фіксованій частоті та досліджуваний параметр вимірюється на цій частоті з підвищеною точністю.

В межах 0 ... 30 дБ прилад дозволяє спостерігати частотні характеристики КСХН та послаблення в логарифмічною масштабі. Цей режим рекомендується при роботі з НВЧ вузлами, характеристики КСХН та послаблення яких різко змінюються в широких межах.

#### Технічні дані панорамного вимірювача РК2-47

1) Нормальні умови експлуатації:

- температура навколишнього повітря від 278 до 313 К (від 5 до 40°С);
- атмосферний тиск  $100 \pm 12$  кH/м<sup>2</sup> (750 ± 90 мм рт. ст.);
- відносна вологість 65% при температурі 303 К (30°С);
- напруга мережі живлення 220% ± 4,4 В.

2) Робочі умови експлуатації:

— температура навколишнього повітря  $293 \pm 5$  К ( $20 \pm 5^{\circ}$ С);

— атмосферний тиск  $100 \pm 4$  кH/м<sup>2</sup> (750 ± 30 мм рт. ст.);

— відносна вологість 65 ± 15%;

— напруга мережі живлення 220%  $\pm$  22 В з частотою 50  $\pm$  0,5 Гц та вмістом гармонік до 5%.

3) Діапазон частот вимірювача 20 ... 1250 МГц та перекривається двома піддіапазонами:

I піддіапазон — 20...610 МГц; II піддіапазон — 610...1250 МГц.

 Смуга хитання частоти плавно змінюється в межах: максимальна — повний поддіапазон; мінімальна — не більше0,01 f<sub>max</sub>,

де  $f_{\text{max}}$  — максимальна частота піддіапазону.

5) Основна похибка визначення частоти за частотною шкалою:

при відліку на частотної позначки — не більше ±15 МГц; при установці початкової і кінцевої частоти смуги хитання — не більше ±20 МГц.

6) Нерівномірність рівня калібрування в діапазоні робочих частот

— не більше ±0,3 дБ.

7) Відхід рівня калібрування приладу після 15 хвилинного прогріву за 2 години роботи в нормальних умовах

— не більше ±0,1 дБ.

8) Вимірювач працює в наступних режимах перестроювання частоти:

— в режимі періодичного перестроювання частоти за пилкоподібним законом з періодами хитання 0,02; 0,08; 1 с і з відхиленням тривалості періодів не більше  $\pm 20\%$ ;

— в режимі однократного запуску вручну з тривалістю перебудови  $40 \pm 8$  с;

— в режимі ручного перестроювання частоти в установленій смузі хитання.

9) Нерівномірність рівня вихідної напруги (потужності) ГХЧ при роботі на узгоджене навантаження в режимі автоматичного регулювання потужності (АРП) від власного датчика сигналу помилки не більше ± 1,5 дБ у смузі частот піддіапазону.

10) Відлік частоти здійснюється за допомогою електрично-формованої частотної позначки. Амплітуда позначки на екрані електронно-променевої трубки (ЕПТ) плавно регулюється в межах від 0 до 5 мм.

11) Межі індикації КСХН

— від 1,0 до ∞.

12) Вимірювач забезпечує вимірювання КСХН в межах

— від 1,05 до 5,0.

8

13) Основна похибка вимірювання КСХН при калібруванні в усьому діапазоні робочих частот в нормальних умовах експлуатації не перевищує величини, яка визначається за формулами:

— для КСХН не більше 2,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \pm 5 K_{\rm CT.U} \% ,$$

— для КСХН від 2,0 до 5,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \frac{\pm 5K_{\rm CT.U}}{100 - (\pm 5K_{\rm CT.U})} \frac{K_{\rm CT.U}}{K_{\rm CT.U} + 1} 100\%,$$

де *К*<sub>СТ.U</sub> — вимірюваний КСХН.

14) Похибка вимірювання КСХН при калібруванні та вимірюванні на фіксованій частоті в нормальних умовах експлуатації не перевищує величини, яка визначається за формулами

— для КСХН не більше 2,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \pm 4 K_{\rm CT.U} \% ,$$

— для КСХН від 2,0 до 5,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \frac{\pm 4K_{\rm CT.U}}{100 - (\pm 4K_{\rm CT.U}) \frac{K_{\rm CT.U}}{K_{\rm CT.U} + 1}} 100\%,$$

де *К*<sub>СТ.U</sub> — вимірюваний КСХН.

15) Похибка вимірювання КСХН в області робочих температур (що виходять за межі нормальних) не перевищує величини, яка визначається за формулою:

— для КСХН не більше 2,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \pm (5K_{\rm CT.U} + 2)\%,$$

де *К*<sub>СТ.U</sub> — вимірюваний КСХН.

16) Вимірювач забезпечує вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення) та підсилення в межах

— від -35 до +60 дБ.

17) Основна похибка вимірювання послаблення узгоджених чотириполюсників (КСХН входів не більше 1,3) при калібруванні в усьому діапазоні робочих частот в нормальних умовах експлуатації не перевищує величини, яка визначається за формулою

$$\delta A = \pm (0,5 + 0,05A)$$
дБ,

де А — вимірюване послаблення, дБ.

18) Похибка вимірювання послаблення узгоджених чотириполюсників (КСХН входів не більше 1,3) при калібруванні та вимірюванні на фіксованій частоті в нормальних умовах експлуатації не перевищує величини, яка визначається за формулою

$$\delta A = \pm (0,3+0,05A)$$
дБ,

де А — вимірюване послаблення, дБ.

19) Похибка вимірювання послаблення узгоджених чотириполюсників (КСХН входів не більше 1,3) при калібруванні у всьому діапазоні робочих частот в області робочих температур, що виходять за межі нормальних, не перевищує величини, яка визначається за формулою

$$\delta A = \pm (0,8+0,05A) \ \mathrm{d} \mathrm{B},$$

де А — вимірюване послаблення, дБ.

20) Похибка вимірювання послаблення неузгоджених чотириполюсників (КСХН входів більше 1,3) при калібруванні та вимірюванні в нормальних умовах експлуатації не перевищує величини, що визначаються за формулами:

— в усьому діапазоні робочих частот

$$\delta A = \pm (0,5 + 0,05A + \Delta_A)$$
дБ;

— на фіксованій частоті

$$\delta A = \pm (0,3 + 0,05A + \Delta_A) \ \mu B,$$

де A — вимірюване послаблення, дБ;  $\Delta_A$ , дБ — додаткова похибка через неузгодженості, яка залежить від КСХН вимірюваного об'єкта та визначається з графіка (див. рис. 1.2).



Рисунок 1.2 — Додаткова похибка через неузгодженості вимірюваного об'єкта

21) Рівень потужності у вимірюваному тракті приладу

— не більше  $10^{-5}$  Вт.

22) Потужність, що споживається вимірювачем від мережі, при нормальній напрузі

— не більше 150 BA.

23) Хвильовий опір і переріз досліджуваних коаксіальних трактів

50 0м, переріз 7/3 мм; 50 0м, переріз 16/7 мм; 75 0м, переріз 16/4,6 мм.

24) Час самопрогріву вимірювача

25) Вимірювач допускає безперервну роботу в робочих умовах протягом 8 годин при збереженні технічних характеристик у межах встановлених норм.

26) Напрацювання на відмову не менше 1000 год.

27) Габаритні розміри і маса:

— генератора хиткої частоти: не більше 490 x 175 x 482 мм, 25 кг;

— індикатора: не більше 490 x 175 x 482 мм, 20 кг;

— укладальних ящиків (з ЗІП): не більше 483 х 138 х 375 мм, 8 кг,

\*ЗІП — запасні частини, інструменти, приналежності.

## 1.4 Ключові питання для допуску до лабораторних робіт

1) Сформулюйте призначення панорамного вимірювача РК2-47. Поясніть всі параметри, що вимірюються.

2) Назвіть основні блоки панорамного вимірювача РК2-47. Поясніть їх призначення.

3) Назвіть і поясніть режими роботи панорамного вимірювача РК2-47.

4) Сформулюйте нормальні та робочі умови експлуатації панорамного вимірювача РК2-47. Поясніть їхні відмінності.

5) Яка похибка визначення частоти панорамного вимірювача РК2-47, від чого вона залежить?

6) Назвіть і поясніть межі індикації та вимірювання КСХН панорамного вимірювача РК2-47.

7) Яка похибка вимірювання КСХН панорамного вимірювача РК2-47 в робочих і нормальних умовах експлуатації, від чого вона залежить? Поясніть причини їх відмінності.

8) Назвіть і поясніть межі вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення) панорамного вимірювача РК2-47.

9) Яка похибка вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення) панорамного вимірювача РК2-47 в робочих і нормальних умовах експлуатації, від чого вона залежить? Поясніть причини їх відмінності.

10) Яка похибка вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення) панорамного вимірювача РК2-47 неузгоджених чотириполюсників? Поясніть метод визначення цієї похибки.

11) Назвіть значення хвильового опору мікрохвильового тракту панорамного вимірювача РК2-47 та поясніть чисельні значення перерізів мікрохвильового тракту.

## 1.5 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен мати:

- 1) Титульний лист установленого зразка (див. Додаток Б).
- 2) Мету роботи.
- 3) Завдання на домашнє дослідження та їхні результати.
- 4) Завдання на лабораторні дослідження.
- 5) Результати лабораторних досліджень.
- 6) Висновки.

Висновки по роботі повинні мати як констатуючу частину, яка відображатиме основні отримані результати, так і аналітичну, в якій проводиться порівняльний аналіз даних теоретичного й експериментального досліджень, а також пояснення отриманих результатів.

#### 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА «Вимірювання частотної залежності КСХН »

#### 2.1 Домашнє завдання

1) Вивчіть теоретичні положення (ключові положення), використовуючи методичні вказівки, конспект лекцій і рекомендовану літературу.

2) Розв'яжіть задачу. В результаті проведених вимірювань параметрів НВЧ пристрої (коаксіального атенюатора) за допомогою панорамного вимірювача РК2-47 на частотах  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  і  $f_5$  отримані відповідні значення КСХН (див. табл. 2.1). Вимірювання проводились на фіксованій частоті в нормальних умовах експлуатації.

Таблиця 2.1 – Результати проведених вимірювань

Частоти	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$
КСХН	K <sub>CT.U1</sub>	K <sub>CT.U2</sub>	K <sub>CT.U3</sub>	K <sub>CT.U4</sub>	K <sub>CT.U5</sub>

Чисельні значення частот і відповідні значення КСХН наведені в Додатку В, та вибираються згідно з варіантом, який визначається останньою цифрою номера залікової книжки *n*.

Розрахуйте значення відносної похибки вимірювання КСХН.

**Методичні вказівки до вирішення домашнього завдання**. Для розрахунку значень відносної похибки вимірювання КСХН можна скористатися формулами п. 14) (див. Технічні дані панорамного вимірювача РК2-47).

3) Підготуйте відповіді на ключові питання (питання для допуску та до захисту лабораторної роботи).

4) Вивчіть інструкцію з експлуатації панорамного вимірювача РК2-47 (див. Додаток А, п. А.1, А.2).

5) Підготуйте бланк звіту з лабораторної роботи, який включає титульний лист установленого зразка (див. Додаток Б), мету роботи (див. 1.1), розв'язання задачі, структурну схему панорамного вимірювача РК2-47 для вимірювання КСХН (див. Додаток А, рис. А.1).

#### 2.2 Лабораторне завдання

1) Підготуйте панорамний вимірювач РК2-47 для вимірювання КСХН (див. Додаток А, А.1).

2) Зафіксуйте значення мінімального рівня напруги опорного каналу.

3) Здійсніть калібрування панорамного вимірювача РК2-47 для вимірювання КСХН (див. Додаток А, А.1.1, А.1.2).

4) Зафіксуйте максимальне значення нерівномірності рівня калібрування.

5) Здійсніть вимірювання КСХН входу НВЧ пристрою (див. Додаток А, А.2) на заданих частотах (див. Додаток В).

Досліджуваний НВЧ пристрій видається викладачем, який проводить лабораторне заняття.

6) Зафіксуйте значення КСХН входу НВЧ пристрою на заданих частотах (див. Додаток В).

## 2.3 Питання до захисту лабораторної роботи:

1) Назвіть і поясніть основні етапи підготовки панорамного вимірювача РК2-47 до вимірювань КСХН. Який мінімальний рівень напруги опорного каналу?

2) Поясніть структурну схему панорамного вимірювача РК2-47 для вимірювання КСХН, особливості включення рефлектометра.

3) Як відбувається калібрування панорамного вимірювача РК2-47 для панорамного вимірювання КСХН?

4) Як відбувається калібрування панорамного вимірювача РК2-47 для вимірювання КСХН на фіксованій частоті?

5) Назвіть режими панорамного вимірювання КСХН за допомогою вимірювача РК2-47. Поясніть порядок роботи з вимірювачем РК2-47 в режимі хитання частоти.

6) Назвіть режими панорамного вимірювання КСХН за допомогою вимірювача РК2-47. Поясніть порядок роботи з вимірювачем РК2-47 в режимі ручного перестроювання частоти.

7) Як відбувається вимірювання КСХН на фіксованій частоті за допомогою вимірювача РК2-47?

## 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА «Вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення)»

#### 3.1 Домашнє завдання

1) Вивчіть теоретичні положення (ключові положення), використовуючи методичні вказівки, конспект лекцій і рекомендовану літературу.

2) Розв'яжіть задачу. В результаті проведених вимірювань параметрів НВЧ пристрою (коаксіального атенюатора) за допомогою панорамного вимірювача РК2-47 на частотах  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  і  $f_5$  отримані відповідні значення коефіцієнта передачі (послаблення) (див. табл. 3.1). Вимірювання проводились на фіксованій частоті в нормальних умовах експлуатації. КСХН входу НВЧ пристрою (коаксіального атенюатора) на частотах вимірювання не перевищувало значення 1,3.

Частоти	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$
Послаблення	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$

Таблиця 3.1 – Результати проведених вимірювань

Чисельні значення частот і відповідні значення коефіцієнта передачі (послаблення) наведені в Додатку В, і вибираються згідно з варіантом, який визначається передостанньою цифрою номера залікової книжки *m*.

Розрахуйте значення відносної похибки вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення).

Методичні вказівки до вирішення домашнього завдання. Для розрахунку значень відносної похибки вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення) можна скористатися формулами п. 18) (див. Технічні дані панорамного вимірювача РК2-47).

3) Підготуйте відповіді на ключові питання (питання для допуску та до захисту лабораторної роботи).

4) Вивчіть інструкцію з експлуатації панорамного вимірювача РК2-47 (див. Додаток А, п. А3, А4).

5) Підготуйте бланк звіту з лабораторної роботи, який включає титульний лист установленого зразка (див. Додаток Б), мету роботи (див. 1.1), розв'язання задачі, структурну схему панорамного вимірювача РК2-47 для вимірювання ко-ефіцієнта передачи (див. Додаток А, рис. А.2).

#### 3.2 Лабораторне завдання

1) Підготуйте панорамний вимірювач РК2-47 до вимірювання послаблення (див. Додаток А, А.3).

2) Зафіксуйте значення мінімального рівня напруги опорного каналу.

3) Здійсніть калібрування панорамного вимірювача РК2-47 для вимірювання послаблення (див. Додаток А, А.3.1, А.3.2).

4) Зафіксуйте максимальне значення нерівномірності рівня калібрування.

5) Здійсніть вимірювання послаблення НВЧ пристрою (див. Додаток А, А.4) на заданих частотах (див. Додаток В).

Досліджуваний НВЧ пристрій видається викладачем, який проводить лабораторне заняття.

6) Зафіксуйте значення послаблення НВЧ пристрою на заданих частотах (див. Додаток В).

## 3.3 Питання до захисту лабораторної роботи:

1) Назвіть і поясніть основні етапи підготовки панорамного вимірювача РК2-47 до вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення). Який мінімальний рівень напруги опорного каналу?

2) Поясніть структурну схему панорамного вимірювача РК2-47 для вимірювання коефіцієнта передачі (ослаблення).

3) Як відбувається калібрування панорамного вимірювача РК2-47 для панорамного вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення)?

4) Як відбувається калібрування панорамного вимірювача РК2-47 для вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення) на фіксованій частоті?

5) Назвіть режими панорамного вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення) за допомогою вимірювача РК2-47. Поясніть порядок роботи з вимірювачем РК2-47 в режимі хитання частоти.

6) Назвіть режими панорамного вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення) за допомогою вимірювача РК2-47. Поясніть порядок роботи з вимірювачем РК2-47 в режимі ручного перестроювання частоти.

7) Назвіть режими панорамного вимірювання коефіцієнта передачі (підсилення) за допомогою вимірювача РК2-47. Поясніть порядок роботи з вимірювачем РК2-47 в режимі хитання частоти.

8) Назвіть режими панорамного вимірювання коефіцієнта передачі (підсилення) за допомогою вимірювача РК2-47. Поясніть порядок роботи з вимірювача РК2-47 в режимі ручного перестроювання частоти.

9) Як відбувається вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення) на фіксованій частоті за допомогою вимірювача РК2-47?

10) Як відбувається вимірювання коефіцієнта передачі (підсилення) на фіксованій частоті за допомогою вимірювача РК2-47?

11) Поясніть процедуру вимірювань за допомогою вимірювача РК2-47 в логарифмічному режимі.

#### РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1) Винокуров В.И. Электрорадиоизмерения: учеб. пособ. для радиотехнич. спец. вузов / Винокуров В.И., Каплин С.И., ПетелинИ.Г.; под ред. В.И. Винокурова. — [2-е изд., перераб. и доп.]. — М.: Высш. школа., 1986. — 351 с.

2) Фрадин А.З. Измерения параметров антенно-фидерных устройств /А. З. Фрадин, Е. В. Рыжков. — [2-е изд., доп.] — М.: Связь, 1972. — 352 с.

3) White J. F. High frequency techniques. An introduction to RF and microwave engineering / White J. F. — A John Wiley & Sons, 2004. — 526 p.

4) Dehe A. Microwave measurements / [A. Dehe, K. Beilenhoff, K. Fricke, et.al.] — CRC Press LLC, 2000. — 25 p.

5) Ghannouchi F.M. The six-port technique with microwave and wireless applications / Fadhel M. Ghannouchi, Abbas Mohammadi. — Artech House, 2009. — 245 p.

## Інструкція з експлуатації панорамного вимірювача РК2-47

## А.1 Підготовка до проведення вимірювань КСХН

1) Зберіть робоче місце відповідно до схеми, що наведена на рис. А.1.



Рисунок А.1 — Електрична структурна схема панорамного вимірювача РК2-47 для калібрування та вимірювання КСХН

- 2) Установіть на лицьовій панелі ГХЧ:
- ручки ступінчастого атенюатора «▼ dB» в положення «0»;
- перемикач «АРМ» в положення «ВНЕШ.»;
- перемикач «РЕЖИМ» в положення «АМ 100 кHz»;
- перемикач «ПЕРИОД S» в положення «0,08»;
- перемикач «РОД РАБОТЫ» в положення « $F_{HA4/KOH}$ ».

3) Виставить перший піддіапазон хитання частоти, для чого установіть:

— перемикач «МНz» в положення «0,5 – 610»;

— перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>НАЧ</sub>»;

— ручкою F<sub>HAЧ</sub> візир на позначку «20» на частотній шкалі першого піддіапазону;

— перемикач «**РУЧН. МЕТКА**» в положення « $F_{KOH}$ »;

— ручкою  $F_{KOH}$  візир на позначку «610» на частотній шкалі першого піддіапазону.

4) Установіть на задній панелі ГКЧ тумблер «БЛАНК.» у верхнє положення, що відповідає положенню «ОТКЛ.».

5) Установіть на лицьовій панелі індикатора:

— кнопку «КОРРЕК.» у ненатиснутому положенні;

— кнопку «-10 dB» у натиснутому положенні;

— кнопку «ЛОГ.» у ненатиснутому положенні;

— кнопку «М» у натиснутому положенні;

— перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в положення «ПАД.».

6) Встановіть вісь резистора «КОНТР. УРОВЕНЬ» в крайнє ліве положення, тумблер «СМЕЩЕНИЕ» в положення «+» на задній панелі індикатора.

7) Увімкніть ГХЧ та індикатор і дайте їм прогрітися протягом 15 хв.

8) Установіть, обертаючи ручку «**ОТСЧЕТ**» (індикатор), візир індикатора на позначку «**0,6**» за шкалою mV. На екрані ЕПТ спостерігаються:

— лінія електронного візира, положення якої регулюється ручкою «ОТ-СЧЕТ»;

— лінія падаючої потужності, що регулюється ручками «ПАД.» (індикатор), «УРОВЕНЬ» (ГКЧ);

— лінія контрольного рівня.

9) Досягніть за допомогою ручок «УРОВЕНЬ» та «ПАД.», щоб лінія падаючої потужності збіглася з лінією електронного візира. За необхідністю допускається введення послаблення ступінчастого атенюатора ручками «▼ dB».

10) Виставить другий піддіапазон хитання частоти, для чого переведіть перемикач «**МНz**» в положення «**610** – **1250**» й установіть на лицьовій панелі ГХЧ:

— перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>НАЧ</sub>»;

— ручкою F<sub>НАЧ</sub> візир на позначку «610» на частотній шкалі другого піддіапазону;

— перемикач «РУЧН. МЕТКА» у положення «F<sub>кон</sub>»;

— ручкою  $F_{KOH}$  візир на позначку «1250» на частотній шкалі другого піддіапазону.

11) Перевірить збіг лінії падаючої потужності з лінією електронного візира.

12) Підключіть до входу  $Z_X$  мостового рефлектометра короткозамкнену муфту (для рефлектометра з трактом 7/3 мм) або короткозамикач (для рефлектометрів з трактами 16/7 і 16/4,6 мм).

13) Перевірить збіг лінії падаючої потужності з лінією електронного візира.

#### А.1.1 Підготовка до панорамного вимірювання КСХН

1) Установіть перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в положення «0». При цьому замість лінії падаючої потужності на екрані ЕПТ спостерігається лінія калібрування, що регулюється ручкою «КАЛИБР.».

2) Установіть ручкою «**ОТСЧЕТ**» (індикатор) візир на відмітку «**0**» на верхній шкалі dB або на відмітку «∞» на шкалі «**КСВ**».

3) Досягніть, обертаючи ручку «КАЛИБР.», щоб лінія калібрування розташовувалася поблизу електронного візира.

4) Вимірить нерівномірність лінії калібрування за наступною методикою:

— виставить почергово перший і другий піддіапазони хитання частоти та визначить положення самої верхньої  $A_1$  і самої нижньої  $A_2$  точок лінії калібрування в усьому діапазоні робочих частот;

— сумістіть ручкою «**ОТСЧЕТ**», виставивши відповідний піддіапазон, лінію візира з самою верхньою точкою лінії калібрування  $A_1$ , потім із найнижчою точкою лінії калібрування  $A_2$ . В обох випадках зробіть відліки на верхній шкалі dB;

— обчисліть нерівномірність лінії калібрування за формулою

$$N = \frac{A_1 - A_2}{2},$$

де A<sub>1</sub> і A<sub>2</sub> — результати відліків, дБ.

5) Нерівномірність N не повинна перевищувати  $\pm 0,3$  дБ.

**Примітка.** При нерівномірності N, що перевищує ±0,3 дБ, виконайте корекцію лінії калібрування за наступною методикою:

— натисніть кнопку «КОРРЕК.»;

— установіть всі осі резисторів «АМПЛ.», «ШИР.», «ПОЛОЖ.» в крайнє ліве положення;

— сумістіть, обертаючи вісь резистора «ПОЛОЖ.» верхнього ряду, дзвоноподібнний імпульс з місцем лінії калібрування, яке треба відкоригувати;

— установіть за допомогою резистора «ШИР.» того ж ряду ширину компенсуючого імпульсу. Якщо при цьому спостерігається зміна положення компенсуючого імпульсу, відновіть положення за допомогою потенціометра «ПОЛОЖ.»;

— установіть за допомогою резистора «АМПЛ.» амплітуду та полярність компенсую-

чого імпульсу так, щоб компенсація була найкращою. За необхідністю допускається уточнення корекції, яке здійснюється обережним поворотом усіх вісей резисторів верхнього ряду почергово;

— зробіть аналогічно корекцію решти нерівномірності, використовуючи три ряди осей резисторів, що залишилися;

— виміряйте після корекції нерівномірність лінії калібрування відповідно до методики, викладеної вище в даному пункті.

6) Проведіть калібрування приладу за наступною методикою:

— виставить піддіапазон, в якому знаходиться найвища точка лінії калібрування A<sub>1</sub>;

— установіть ручкою «**OTCЧЕТ**» візир на відмітку верхньої шкали, відповідну абсолютній величині виміряної нерівномірності лінії калібрування N;

— сумістіть ручкою «КАЛИБР.» найвищу точку лінії калібрування з лінією електронного візира.

## А.1.2 Підготовка до вимірювання КСХН на фіксованій частоті

1) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

2) Установіть ручкою «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР.</sub>» (ГХЧ) візир на позначку частотної шкали, яка відповідна частоті вимірювання.

3) Установіть ручками « $\mathbf{F}_{HAH}$ » і « $\mathbf{F}_{KOH}$ » такий діапазон хитання частоти, щоб на екрані ЕПТ спостерігалася позначка. Амплітуду позначки регулюйте ручкою «**METKA**» (індикатор).

4) Установіть перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в положення «О».

5) Установіть ручкою «ОТСЧЕТ» візир на відмітку «0» на верхній шкалі dB або на відмітку «∞» на шкалі «КСВ».

6) Сумістіть ручкою «КАЛИБР.» точку лінії калібрування в місці знаходження частотної позначки з лінією візира.

7) Вимкніть від входу мостового рефлектометра короткозамикач (короткозамкнену муфту).

8) Сумістіть ручкою «**OTCЧЕТ**» візир з лінією калібрування в місці знаходження частотної позначки та зробіть відлік *A* на верхній шкалі dB.

9) Обчисліть величину В за формулою

$$B=\frac{A}{2},$$

де А — результат відліку, дБ.

10) Установіть ручкою «**ОТСЧЕТ**» візир на відмітку, що відповідає значенню *В*, на верхній шкалі з урахуванням знака.

11) Сумістіть ручкою «КАЛИБР.» лінію калібрування з лінією візиру в місті знаходження частотної позначки.

## А.2 Проведення вимірювань КСХН

## А.2.1 Панорамне вимірювання КСХН

Залежно від виду виконуваної роботи може бути обраний один з наступних режимів вимірювань:

— режим хитання частоти, який рекомендується застосовувати для вимірювань при налаштуванні та наладці вузлів, де необхідне визначення межі вимірювання вимірюваної величини;

— режим ручного перестроювання частоти, який рекомендується використовувати при вимірюваннях малих відбиттів і великих послаблень.

## Порядок роботи з приладом в режимі хитання частоти наступний:

1) Підключіть до вимірювального входу « $Z_X$ » мостового рефлектометра вимірюваний об'єкт (див. рис. А.1).

2) Установіть перемикачем «ПЕРИОД S» бажаний період розгортки: 0,02; 0,08; 1 або 40 с. При періоді 40 с запуск розгортки здійснюється кнопкою «ПУСК». Періоди розгортки 1 та 40 с рекомендуються при панорамному вимірюванні малих КСХН. Натисніть при цьому кнопку «Л».

3) Установіть перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в положення, за якого крива КСХН розташовується на екрані ЕПТ зручно для спостереження та вимірювання (поблизу середини екрану ЕПТ).

4) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

5) Установіть за допомогою ручки «МЕТКА – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГХЧ) візир на позначку частотної шкали, що відповідає частоті, за якою відбувається вимірювання.

6) Сумістіть, обертаючи ручку «**OTCЧЕТ**», лінію електронного візира з кривою КСХН в місці знаходження частотної позначки. Амплітуду позначки за необхідністю регулюйте ручкою «**METKA**» (індикатор).

7) Відрахуйте виміряне значення КСХН за шкалою «КСВ» (нижня шкала шкального пристрою).

Порядок роботи з приладом в режимі ручної перестроювання частоти наступний.

8) Натисніть кнопку « $\Lambda$ ».

9) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

10) Установіть ручкою «МЕТКА – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГКЧ) бажану частоту.

11) Установіть перемикач «ПЕРИОД S» в положення «РУЧ.».

12) Установіть ручку «МЕТКА» (індикатор) у середнє положення.

13) Досягніть ручкою «РУЧ.» сплеску позначки на екрані ЕПТ.

14) Установіть ручку «МЕТКА» у крайнє ліве положення.

15) Відрахуйте виміряне значення КСХН за шкалою «КСВ» (нижня шкала шкального пристрою).

## А.2.2 Вимірювання КСХН на фіксованій частоті

Вимірювання відбувається за такою методикою.

1) Підключіть до входу « $Z_X$ »мостового рефлектометра вимірюваний об'єкт (див. рис. А.1).

2) Установіть перемикач «ПРЕДЕЛЫ» у таке положення, за якого характеристика КСХН розташовується поблизу середини екрана ЕПТ.

3) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

4) Встановіть за допомогою ручки «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГХЧ) візир на позначку частотної шкали, що відповідає частоті, за якою відбувається вимірювання.

5) Поєднайте ручкою «**OTCЧЕТ**» лінію візира з лінією характеристики КСХН в місці знаходження частотної позначки.

6) Відрахуйте виміряне значення КСХН за шкалою «КСВ» (нижня шкала шкального пристрою).

## А.З Підготовка до проведення вимірювань коефіцієнта передачі

1) Зберіть робоче місце відповідно до схеми, що наведена на рис. А.2.

2) Установіть на лицьовій панелі:

— ручки ступінчастого атенюатора «▼ dB» в положення «7 дБ»;

— перемикач «АРМ» в положення «ВНЕШ.»;

— перемикач «РЕЖИМ» в положення «АМ 100 кHz»;

— перемикач «ПЕРИОД S» в положення «0,08»;

— перемикач «РОД РАБОТЫ» в положення « $F_{HA4/KOH}$ ».



Рисунок А.2 — Електрична структурна схема панорамного вимірювача РК2-47 для калібрування та вимірювання коефіцієнта передачі

3) Виставить перший піддіапазон хитання частоти, для чого установіть:

— перемикач «МНz» в положення «0,5 – 610»;

— перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>НАЧ</sub>»;

— ручкою  $F_{HAY}$  візир на відмітку «20» за частотною шкалою першого піддіапазону;

— перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>кон</sub>»;

— ручкою F<sub>КОН</sub> візир на відмітку «610» за частотною шкалою першого піддіапазону.

4) Установіть на задній панелі ГХЧ тумблер «БЛАНК.» у верхнє положення, що відповідає положенню «ОТКЛ.».

5) Установіть на лицьовій панелі індикатора:

- кнопку «КОРРЕК.» у ненатиснутому положенні;

— кнопку «-10 dB» у натиснутому положенні;

- кнопку «ЛОГ.» у ненатиснутому положенні;

— кнопку «М» у натиснутому положенні;

— перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в положення «ПАД.».

6) Установіть вісь резистора «КОНТР. УРОВЕНЬ» у крайнє ліве положення, тумблер «СМЕЩЕНИЕ» в положення «+» на задній панелі індикатора.

7) Увімкніть ГХЧ та індикатор та дайте їм прогрітися протягом 15 хв.

8) Установіть, обертаючи ручку «**ОТСЧЕТ**» (індикатор), візир індикатора в інтервалі від 2 до 5 мВ за шкалою mV. На екрані ЕПТ спостерігаються:

— лінія електронного візира, положення якої регулюється ручкою «ОТСЧЕТ»;

— лінія падаючої потужності, що регулюється ручками «ПАД.» (індикатор), «УРОВЕНЬ» (ГХЧ);

— лінія контрольного рівня.

9) Виберіть за допомогою ручок «УРОВЕНЬ» та «ПАД.» рівень падаючої потужності мінімальним в інтервалі від 2 до 5 мВ за шкалою mV, за якого лінія падаючої потужності була б рівна. За необхідністю допускається введення послаблення ступінчатого атенюатора ручками «▼ dB».

10) Виставте другий піддіапазон хитання частоти, для чого переведіть перемикач «МНz» в положення «610 – 1250» та встановіть на лицьовій панелі ГХЧ:

— перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення « $F_{HAY}$ »;

— ручкою  $F_{HAY}$  візир на відмітку «610» за частотною шкалою другого піддіапазону;

— перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>кон</sub>»;

— ручкою  $F_{KOH}$  візир на відмітку «1250» за частотною шкалою другого піддіапазону.

11) Виберіть за допомогою ручок «**УРОВЕНЬ**» та «ПАД.» рівень падаючої потужності мінімальним в інтервалі від 2 до 5 мВ за шкалою mV, за якого падаюча потужність ще стабілізована (лінія падаючої потужності рівна в обох піддіапазонах).

#### А.З.1 Підготовка до панорамному вимірюванню коефіцієнта передачі

1) Установіть перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в положення «0». При цьому замість лінії падаючої потужності на екрані ЕЛТ спостерігається лінія калібрування, що регулюється ручкою «КАЛИБР.».

2) Установіть ручкою «**ОТСЧЕТ**» (індикатор) візир на відмітку «**0**» за верхньою шкалою dB.

3) Досягніть, обертаючи ручку «КАЛИБР.», щоб лінія калібрування розташовувалася поблизу електронного візира.

4) Вимірить нерівномірність лінії калібрування за наступною методикою:

— виставить почергово перший і другий піддіапазони хитання частоти та визначте положення самої верхньої  $A_1$  і самої нижньої  $A_2$  точок лінії калібрування в усьому діапазоні робочих частот;

— сумістіть ручкою «**OTCЧЕТ**», виставивши відповідний поддіапазон, лінію візира з самої верхньої точкою лінії калібрування *A*<sub>1</sub>, потім із самою ни-

жньою точкою лінії калібрування A<sub>2</sub>. В обох випадках зробіть відліки за верхньою шкалою dB:

— відрахуйте нерівномірність лінії калібрування за формулою

$$N = \frac{A_1 - A_2}{2},$$

де A<sub>1</sub> і A<sub>2</sub> — результати відліків, дБ.

5) Нерівномірність N не повинна перевищувати  $\pm 0,3$  дБ.

**Примітка.** При нерівномірності *N*, що перевищує ±0,3 дБ, виконайте корекцію лінії калібрування за наступною методикою:

— натисніть кнопку «КОРРЕК.»;

— установіть всі осі резисторів «АМПЛ.», «ШИР.», «ПОЛОЖ.» в крайнє ліве положення;

— сумістіть, обертаючи вісь резистора «ПОЛОЖ.» верхнього ряду, дзвоноподібнний імпульс з місцем лінії калібрування, яке треба відкоригувати;

— установіть за допомогою резистора «ШИР.» того ж ряду ширину компенсуючого імпульсу. Якщо при цьому спостерігається зміна положення компенсуючого імпульсу, відновіть положення за допомогою потенціометра «ПОЛОЖ.»;

— установіть за допомогою резистора «АМПЛ.» амплітуду та полярність компенсуючого імпульсу так, щоб компенсація була найкращою. За необхідністю допускається уточнення корекції, яке здійснюється обережним поворотом усіх вісей резисторів верхнього ряду почергово;

— зробіть аналогічно корекцію решти нерівномірності, використовуючи три ряди осей резисторів, що залишилися;

— виміряйте після корекції нерівномірність лінії калібрування відповідно до методики, викладеної вище в даному пункті.

6) Проведіть калібрування приладу за наступною методикою:

— виставить піддіапазон, в якому знаходиться найвища точка лінії калібрування *A*<sub>1</sub>;

— установіть ручкою «**OTCЧЕТ**» візир на відмітку верхньої шкали, відповідну абсолютній величині виміряної нерівномірності лінії калібрування N;

— сумістіть ручкою «КАЛИБР.» найвищу точку лінії калібрування з лінією електронного візира.

## А.3.2 Підготовка до вимірювання коефіцієнта передачі на фіксованій частоті

1) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

2) Установіть ручкою «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР.</sub>» (ГХЧ) візир на позначку частотної шкали, що відповідає частоті виміру.

3) Установіть ручками « $\mathbf{F}_{HA4}$ » та « $\mathbf{F}_{KOH}$ » такий діапазон хитання частоти, щоб на екрані ЕПТ спостерігалася позначка. Амплітуду позначки регулюйте ручкою «МЕТКА» (індикатор).

3) Установіть перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в положення «О».

4) Установіть ручкою «ОТСЧЕТ» візир на відмітку «О» за шкалою dB.

5) Поєднати ручкою «КАЛИБР.» лінію калібрування з лінією візира в місці знаходження частотної позначки.

**Примітка.** Похибка вимірювання послаблення (коефіцієнта передачі) гарантується з елементами НВЧ тракту (переходами, атенюаторами-переходами та ін.), що входять в комплект поставки приладу РК2-47 і з'єднаними, як зазначено в «Технічному описі та інструкції з експлуатації».

## А.4 Проведення вимірювання коефіцієнта передачі

## А.4.1 Панорамне вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення)

Панорамне вимірювання коефіцієнта передачі, що менший 1 (послаблення), проводиться в одному з наступних режимів вимірів:

— режим хитання частоти, який рекомендується застосовувати для вимірювань при налаштуванні та наладці вузлів, де необхідне визначення межі вимірювання вимірюваної величини;

— режим ручного перестроювання частоти, який рекомендується використовувати при вимірах малих відбиттів і великих послаблень.

## Порядок роботи з приладом в режимі хитання частоти наступний.

1) Підключіть досліджуваний об'єкт у вимірювальний ланцюг згідно зі схемою, що наведена на рис. А.2.

2) Установіть перемикачем «ПЕРИОД S» бажаний період розгортки: 0,02; 0,08; 1 або 40 с. При періоді 40 с запуск розгортки здійснюється кнопкою «ПУСК». Періоди розгортки 1 і 40 с рекомендуються при панорамному вимірі малих КСХН. Натисніть при цьому кнопку «Л».

3) Установіть перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в положення, за якого крива послаблення розташовується на екрані ЕПТ зручно для спостереження та виміру (поблизу середини екрану ЕПТ).

4) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

5) Установіть за допомогою ручки «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГХЧ) візир на позначку частотної шкали, що відповідає частоті, за якою відбувається вимірювання.

6) Поєднайте, обертаючи ручку «**OTCЧЕТ**», лінію електронного візира з лінією характеристики послаблення в бажаному місці, контролюючи частоту за частотною позначкою. Амплітуду позначки за необхідністю регулюйте ручкою «**METKA**» (індикатор).

7) Відрахуйте виміряне значення послаблення за верхньою шкалою dB. Результат вимірювання в децибелах дорівнює алгебраїчній сумі показів шкального пристрою та перемикача «ПРЕДЕЛЫ».

#### Порядок роботи з приладом у режимі ручного перестроювання частоти наступний.

8) Натисніть кнопку «**Л**».

9) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

10) Установіть ручкою «МЕТКА – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГХЧ) бажану частоту.

11) Установіть перемикач «ПЕРИОД S» в положення «РУЧ.».

12) Установіть ручкою «МЕТКА» (індикатор) в середнє положення.

13) Досягніть ручкою «РУЧ.» сплеску позначки на екрані ЕПТ.

14) Установіть ручку «МЕТКА» (індикатор) у крайнє ліве положення.

15) Відрахуйте виміряне значення послаблення за верхньою шкалою dB. Результат вимірювання в децибелах дорівнює алгебраїчній сумі показів шкального пристрою та перемикача «ПРЕДЕЛЫ».

## А.4.2 Панорамне вимірювання коефіцієнта передачі (підсилення)

Панорамне вимірювання коефіцієнта передачі, що більший 1 (підсилення), відбувається в одному з наступних режимів вимірів:

— режим хитання частоти, який рекомендується застосовувати для вимірювань при налаштуванні та наладці вузлів, де необхідне визначення межі вимірювання вимірюваної величини;

— режим ручного перестроювання частоти, який рекомендується використовувати при вимірах малих відбиттів і великих послаблень.

## Порядок роботи з приладом в режимі хитання частоти наступний.

1) Установіть ступінчастий атенюатор «**V dB**» (ГКЧ) на максимальне послаблення «**70** д**Б**».

2) Підключіть досліджуваний об'єкт у вимірювальний ланцюг згідно зі схемою, що наведена на рис. А.2.

3) Установіть перемикачем «ПЕРИОД S» » бажаний період розгортки: 0,02; 0,08; 1 або 40 с. При періоді 40 с запуск розгортки здійснюється кнопкою «ПУСК». Періоди розгортки 1 і 40 с рекомендуються при панорамному вимірі малих КСХН. Натисніть при цьому кнопку «Л».

4) Зменшуйте поступово послаблення ступінчастого атенюатора доки частотна характеристика коефіцієнта передачі не розташується поблизу середини екрана ЕПТ.

5) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

6) Установіть за допомогою ручки «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГХЧ) візир на позначку частотної шкали, що відповідає частоті, за якою відбувається вимірювання.

7) Поєднайте, обертаючи ручку «**OTCЧЕТ**» лінію електронного візира з лінією частотної характеристики коефіцієнта передачі в бажаному місці, контролюючи частоту за частотною позначкою. Амплітуду позначки за необхідністю регулюйте ручкою «**METKA**» (індикатор).

8) Обчисліть результат вимірювання А за формулою

$$A = A_{\rm III} + A_{\rm ATEH. B} + A_{\rm ATEH. K},$$

де *А*<sub>Ш</sub> — покази шкального пристрою, дБ;

*А*<sub>АТЕН. В</sub> — послаблення ступінчастого атенюатора при вимірюванні, дБ; *А*<sub>АТЕН. К</sub> — послаблення ступінчастого атенюатора при калібруванні, дБ.

## Порядок роботи з приладом в режимі ручного перестроювання частоти наступний.

9) Натисніть кнопку «**Л**».

- 10) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».
- 11) Установіть ручкою «МЕТКА F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГХЧ) бажану частоту.
- 12) Установіть перемикач «ПЕРИОД S» в положення «РУЧ.».
- 13) Установіть ручкою «МЕТКА» (індикатор) у середнє положення.
- 14) Досягніть ручкою «РУЧ.» сплеску позначки на екрані ЕПТ.
- 15) Установіть ручку «МЕТКА» (індикатор) у крайнє ліве положення.
- 16) Відрахуйте виміряне значення послаблення А<sub>Ш</sub> за верхньою шкалою dB.
- 17) Обчисліть результат вимірювання А за формулою

$$A = A_{\mathrm{III}} + A_{\mathrm{ATEH. B}} + A_{\mathrm{ATEH. K}},$$

де *А*<sub>Ш</sub> — покази шкального пристрою, дБ;

А<sub>АТЕН. В</sub> — послаблення ступінчастого атенюатора при вимірюванні, дБ; А<sub>АТЕН. К</sub> — послаблення ступінчастого атенюатора при калібруванні, дБ.

### А.4.3 Вимірювання коефіцієнта передачі на фіксованій частоті

Вимірювання коефіцієнта передачі, що менший 1 (послаблення), на фіксованій частоті відбувається за такою методикою.

1) Підключіть досліджуваний об'єкт у вимірювальний ланцюг згідно зі схемою, що наведена на рис. А.2.

2) Установіть перемикач «ПРЕДЕЛЫ» в таке положення, за якому характеристика послаблення розташовується поблизу середини екрана ЕПТ.

3) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

4) Установіть за допомогою ручки «**МЕТКА** –  $\mathbf{F}_{\text{ЦЕНТР}}$ » (ГХЧ) візир на позначку частотної шкали, що відповідає частоті, за якою відбувається вимірювання.

5) Поєднайте ручкою «**OTCHET**» лінію візира з лінією характеристики послаблення в місці знаходження частотної позначки.

6) Відрахуйте виміряне значення послаблення за верхньою шкалою dB. Результат вимірювання в децибелах дорівнює алгебраїчній сумі показів шкального пристрою та перемикача «ПРЕДЕЛЫ».

Вимірювання коефіцієнта передачі, що більший 1 (підсилення), на фіксованій частоті відбувається за такою методикою.

1) Установіть ступінчастий атенюатор «**V**dB» (ГХЧ) на максимальне послаблення «**70** дБ».

2) Підключіть досліджуваний об'єкт у вимірювальний ланцюг згідно зі схемою, що наведена на рис. А.2.

3) Зменшуйте поступово послаблення ступінчастого атенюатора «**▼dB**» (ГХЧ) доки частотна характеристика коефіцієнта передачі не розташується поблизу середини екрана ЕПТ.

4) Установіть перемикач «РУЧН. МЕТКА» в положення «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

5) Установіть за допомогою ручки «МЕТКА – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГХЧ) візир на позначку частотної шкали, що відповідає частоті, за якою відбувається вимірювання.

6) Поєднайте ручкою «**OTCHET**» лінію візира з лінією характеристики послаблення в місці знаходження частотної позначки.

7) Відрахуйте виміряне значення послаблення *А*<sub>Ш</sub> за верхньою шкалою dB.

8) Обчисліть результат вимірювання А за формулою

$$A = A_{\text{III}} + A_{\text{ATEH. B}} + A_{\text{ATEH. K}},$$

де *А*<sub>Ш</sub> — покази шкального пристрою, дБ;

*А*<sub>АТЕН. В</sub> — послаблення ступінчастого атенюатора при вимірюванні, дБ; *А*<sub>АТЕН. К</sub> — послаблення ступінчастого атенюатора при калібруванні, дБ.

#### А.5 Робота в логарифмічному режимі

1) Натисніть кнопку «ЛОГ.»

2) Увімкніть вимірюваний об'єкт у вимірювальний ланцюг згідно з відповідною методикою вимірювання КСХН (див. рис. А.1) або коефіцієнта передачі (див. рис. А.2).

Частотна характеристика КСХН та послаблення спостерігається безпосередньо на екрані ЕПТ.

3) Проведіть відлік послаблення за допомогою електронного візира, результат відрахуйте за нижньою шкалою dB.

При вимірюванні КСХН переведіть результат з децибел в одиниці КСХН.

4) Збільшуйте послаблення ступінчастого атенюатора «▼ dB» (ГХЧ) при вимірюванні підсилення доки характеристика послаблення не розташується в робочій частині екрана ЕПТ. При цьому до результату відліку додати величину, на яку збільшилось послаблення атенюатора.

## Додаток Б

## Титульний лист установленого зразка

Міністерство освіти і науки України Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

Кафедра технічної електродинаміки та систем радіозв'язку

3BIT

з лабораторної роботи

«Вимірювання КСХН та коефіцієнтів передачі мікрохвильових пристроїв на основі панорамного вимірювача РК2-47»

Вимірювання частотної залежності КСХН

Виконав: студент гр. Р 5.203 Петров Петро Петрович Номер залікової книжки 000001

Перевірив: проф. каф. ТЕД та СРЗ Проценко М.Б.

Одеса 2014

## Додаток В

## Вихідні дані для виконання домашніх і лабораторних завдань на 2014/15 навч. рік

Вихідні дані до лабораторної роботи «Вимірювання КСХН та коефіцієнтів передачі мікрохвильових пристроїв на основі панорамного вимірювача РК2-47. Вимірювання частотної залежності КСХН».

Варіант $n=0$					
<i>f</i> , МГц	110	120	130	140	150
КСХН	2,5	2,1	1,3	1,1	1,5
Варіант $n=1$					
f, МГц	250	260	270	280	290
КСХН	3,0	2,4	1,8	1,2	1,9
Варіант $n = 2$			•	•	
f, МГц	310	320	330	340	350
КСХН	2,3	2,1	1,8	1,6	1,4
Варіант $n = 3$			1	1	
f, МГц	450	460	470	480	490
КСХН	1,5	1,3	1,9	2,1	2,3
Варіант $n = 4$			1		
f, МГц	510	520	530	540	550
КСХН	1,2	1,1	1,6	2,2	2,8
Варіант $n = 5$			•		
f, МГц	650	660	670	680	690
КСХН	1,3	1,5	1,8	2,2	2,6
Варіант $n = 6$			•		
<i>f</i> , МГц	710	720	730	740	750
КСХН	3,3	2,6	1,9	1,5	1,3
Варіант $n = 7$					
f, МГц	850	860	870	880	890
КСХН	3,1	2,4	1,9	1,3	1,6
Вариант $n = 8$			-		
f, МГц	910	920	930	940	950
КСХН	2,2	2,1	1,8	1,7	1,6
Варіант $n = 9$			-		
<i>f</i> , МГц	1050	1060	1070	1080	1090
КСХН	1,5	1,7	1,9	2,1	2,5

## Вихідні дані для виконання домашніх і лабораторних завдань на 2014/15 навч. рік (продовження)

Вихідні дані до лабораторної роботи «Вимірювання КСХН та коефіцієнтів передачі мікрохвильових пристроїв на основі панорамного вимірювача РК2-47. Вимірювання коефіцієнта передачі (послаблення)».

Bapiant $m=0$					
<i>f</i> , МГц	110	120	130	140	150
Ослаблення, дБ	3,1	3,3	3,2	3,0	2,9
Варіант <i>m</i> = 1			·		
f, МГц	250	260	270	280	290
Ослаблення, дБ	10,1	10,3	10,2	10,0	9,9
Варіант $m = 2$					
f, МГц	310	320	330	340	350
Ослаблення, дБ	20,3	20,2	20,1	19,9	19,8
Варіант $m = 3$					
f, МГц	450	460	470	480	490
Ослаблення, дБ	2,9	3,0	3,2	3,3	3,0
Вариант $m = 4$					
f, МГц	510	520	530	540	550
Ослаблення, дБ	9,8	9,9	10,0	10,1	10,2
Варіант $m = 5$					
f, МГц	650	660	670	680	690
Ослаблення, дБ	19,9	20,0	20,2	20,1	19,8
Варіант $m = 6$					
f, МГц	710	720	730	740	750
Ослабление, дБ	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9
Варіант $m = 7$					
f, МГц	850	860	870	880	890
Ослаблення, дБ	10,1	10,0	9,9	9,8	9,7
Варіант $m = 8$					
f , МГц	910	920	930	940	950
Ослаблення, дБ	21,9	21,5	21,1	20,8	20,5
Варіант $m = 9$					
<i>f</i> , МГц	1050	1060	1070	1080	1090
Ослаблення, дБ	3,4	3,2	3,3	3,1	2,9

## СОДЕЖАНИЕ

1 Цикл лабораторных работ «Измерения КСВН и коэффициентов	
передачи микроволновых устройств на основе панорамного	
измерителя РК2-47»	36
1.1 Цель работ	36
1.2 Общие требования к выполнению лабораторных работ	36
1.3 Ключевые положения	36
1.4 Ключевые вопросы для допуска к лабораторным работам	43
1.5 Содержание отчета	44
2 Лабораторная работа «Измерение частотной зависимости КСВН»	45
2.1 Домашнее задание	45
2.2 Лабораторное задание	46
2.3 Вопросы к защите лабораторной работы	46
3 Лабораторная работа «Измерение коэффициента	
передачи (ослабления)»	47
3.1 Домашнее задание	47
3.2 Лабораторное задание	48
3.3 Вопросы к защите лабораторной работы	48
Рекомендуемая литература	50
Приложение А. Инструкция по эксплуатации панорамного	
измерителя РК2-47	51
А.1 Подготовка к проведению измерения КСВН	51
А.1.1 Подготовка к панорамному измерению КСВН	53
А.1.2 Подготовка к измерению КСВН на фиксированной частоте	54
А.2 Проведение измерений КСВН	55
А.2.1 Панорамное измерение КСВН	55
А.2.2 Измерение КСВН на фиксированной частоте	56
А.3 Подготовка к проведению измерений коэффициента передачи	56
А.3.1 Подготовка к панорамному измерению	
коэффициента передачи	58
А.3.2 Подготовка к измерению коэффициента передачи	
на фиксированной частоте	60
А.4 Проведение измерений коэффициента передачи	60
А.4.1 Панорамное измерение коэффициента	
передачи (ослабления)	60
А.4.2 Панорамное измерение коэффициента	
передачи (усиления)	61
А.4.3 Измерение коэффициента передачи	
на фиксированной частоте	63
А.5 Работа в логарифмическом режиме	64
Приложение Б. Титульный лист установленного образца	65
Приложение В. Исходные данные для выполнения	
домашних и лабораторных заданий на 2014/15 уч. год	66

#### 1 ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ «Измерения КСВН и коэффициентов передачи микроволновых устройств на основе панорамного измерителя РК2-47»

#### 1.1 Цель работ

Целью лабораторных работ является знакомство с устройством и принципом действия панорамного измерителя РК2-47, изучение методов его использования для исследования частотных характеристик КСВН входа антенн и микроволновых устройств.

#### 1.2 Общие требования к выполнению лабораторных работ

Содержание выполняемых лабораторных работ должно быть предварительно изучено с привлечением теоретического материала из лекционного курса и соответствующей литературы.

Лабораторные работы выполняется бригадами в составе 2 – 4-х студентов, каждый из которых выполняет свое индивидуальное задание.

Отчет составляется каждым студентом и защищается в индивидуальном порядке.

Исходные данные для выполнения заданий исследований выбираются каждым студентом индивидуально в соответствии с предпоследней *m* и последней *n* цифрами номера зачетной книжки согласно исходным данным (см. Приложение В)

#### 1.3 Ключевые положения

#### Назначение панорамного измерителя РК2-47

Измеритель коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) и ослабления панорамный РК2-47 (см. рис. 1.1) предназначен для измерения КСВН элементов коаксиальных трактов и коэффициента передачи коаксиальных четырехполюсников. Прибор работает на малом уровне мощности и позволяет измерять коэффициент передачи (ослабление и усиление) активных элементов.

Прибор может применяться в лабораторных и цеховых условиях, а также в ремонтных мастерских и поверочных органах.

#### Устройство и принцип работы панорамного измерителя РК2-47

Конструктивно прибор выполнен в настольном варианте. В состав прибора входят следующие основные блоки и узлы:

— индикатор КСВН и ослабления Я2Р-67;

- генератор качающейся частоты (ГКЧ);
- измерительные СВЧ узлы.



Рисунок 1.1 — Внешний вид панорамного измерителя РК2-47

Из узлов и блоков собираются необходимые схемы измерений.

Шкалы индикатора градуированы в значениях КСВН и в значениях ослабления (в децибелах), что позволяет производить непосредственный отсчет измеряемой величины.

Измерение КСВН основано на том, что отношение НЧ сигналов на выходах мостового рефлектометра пропорционально квадрату модуля коэффициента отражения исследуемого объекта, подключенного ко входу « $Z_X$ » рефлектометра.

Ослабление измеряется детектированием СВЧ мощности на входе и выходе исследуемого четырехполюсника и измерением отношения полученных сигналов. Усиление измеряется комбинированным методом, сочетающим измерение отношения НЧ сигналов и замещение по СВЧ.

#### Режимы работы панорамного измерителя РК2-47

Измеритель РК2-47 может работать в следующих режимах.

Панорамного измерения КСВН и коэффициента передачи. При работе в этом режиме прибор калибруется во всем диапазоне рабочих частот, а исследуемая характеристика КСВН или коэффициента передачи наблюдается в желаемом частотном диапазоне. Режим рекомендуется при настройке и регулировке СВЧ узлов и антенн.

**Измерения КСВН и коэффициента передачи на фиксированной частоте.** При работе в этом режиме прибор калибруется на фиксированной частоте, и интересующий параметр измеряется на этой частоте с повышенной точностью.

В пределах 0...30 дБ прибор позволяет наблюдать частотные характеристики КСВН и ослабления в логарифмическом масштабе. Этот режим рекомендуется при работе с СВЧ узлами, характеристики КСВН и ослабления которых резко изменяются в широких пределах.

#### Технические данные панорамного измерителя РК2-47

1) Нормальные условия эксплуатации:

- температура окружающего воздуха от 278 до 313 К (от 5 до 40°С);
- атмосферное давление  $100 \pm 12 \text{ кH/м}^2 (750 \pm 90 \text{ мм рт. ст.});$
- относительная влажность 65% при температуре 303 К (30°С);

— напряжение питающей сети  $220\% \pm 4.4$  В.

2) Рабочие условия эксплуатации:

— температура окружающего воздуха  $293 \pm 5$  К ( $20 \pm 5^{\circ}$ С);

— атмосферное давление  $100 \pm 4 \text{ кH/m}^2 (750 \pm 30 \text{ мм рт. ст.});$ 

— относительная влажность  $65 \pm 15\%$ ;

— напряжение питающей сети 220%  $\pm$  22 В с частота 50  $\pm$  0,5 Гц и содержанием гармоник до 5%.

3) Диапазон частот измерителя 20...1250 МГц перекрывается двумя поддиапазонами:

> I поддиапазон — 20...610 МГц; II поддиапазон — 610...1250 МГц.

4) Полоса качания частоты плавно изменяется в пределах:

максимальная — полный поддиапазон; минимальная — не более  $0,01 f_{\text{max}}$ ,

где  $f_{\max}$  — максимальная частота поддиапазона.

5) Основная погрешность определения частоты по частотной шкале:

при отсчете по частотной метке — не более ±15 МГц; при установке начальной и конечной частот полосы качания — не более ±20 МГц.

6) Неравномерность уровня калибровки в диапазоне рабочих частот

— не более ±0,3 дБ.

7) Уход уровня калибровки прибора после 15-минутного прогрева за 2 ч работы в нормальных условиях

— не более ±0,1 дБ.

8) Измеритель работает в следующих режимах перестройки частоты:

— в режиме периодической перестройки частоты по пилообразному закону с периодами качания 0,02; 0,08; 1 с и с отклонением длительности периодов не более  $\pm 20\%$ ;

— в режиме однократного запуска вручную с длительностью перестройки  $40 \pm 8$  с;

— в режиме ручной перестройки частоты в установленной полосе качания.

9) Неравномерность уровня выходного напряжения (мощности) ГКЧ при работе на согласованную нагрузку в режиме автоматической регулировки мощности (APM) от собственного датчика сигнала ошибки не более ±1,5 дБ в полосе частот поддиапазона.

10) Отсчет частоты осуществляется с помощью электрически формируемой частотной метки. Амплитуда метки на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) плавно регулируется в пределах от 0 до 5 мм.

11) Пределы индикации КСВН

— от 1,0 до ∞.

12) Измеритель обеспечивает измерение КСВН в пределах

— от 1,05 до 5,0.

13) Основная погрешность измерения КСВН при калибровке во всем диапазоне рабочих частот в нормальных условиях эксплуатации не превышает величины, определяемой по формулам:

— для КСВН не более 2,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \pm 5 K_{\rm CT.U} \% ,$$

— для КСВН от 2,0 до 5,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \frac{\pm 5K_{\rm CT.U}}{100 - (\pm 5K_{\rm CT.U})} \frac{K_{\rm CT.U}}{K_{\rm CT.U} + 1} 100\%,$$

где *К*<sub>СТ.U</sub> — измеряемый КСВН.

14) Погрешность измерения КСВН при калибровке и измерении на фиксированной частоте в нормальных условиях эксплуатации не превышает величины, определяемой по формулам:

— для КСВН не более 2,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \pm 4 K_{\rm CT.U} \% ,$$

— для КСВН от 2,0 до 5,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \frac{\pm 4K_{\rm CT.U}}{100 - (\pm 4K_{\rm CT.U}) \frac{K_{\rm CT.U}}{K_{\rm CT.U} + 1}} 100\%,$$

где *К*<sub>СТ.U</sub> — измеряемый КСВН.

15) Погрешность измерения КСВН в области рабочих температур (выходящих за пределы нормальных) не превышает величины, определяемой по формуле:

— для КСВН не более 2,0

$$\delta K_{\rm CT.U} = \pm (5K_{\rm CT.U} + 2)\%,$$

где *К*<sub>СТ.U</sub> — измеряемый КСВН.

16) Измеритель обеспечивает измерение коэффициента передачи (ослабления и усиления ) в пределах

— от -35 до +60 дБ.

17) Основная погрешность измерения ослабления согласованных четырехполюсников (КСВН входов не более 1,3) при калибровке во всем диапазоне рабочих частот в нормальных условиях эксплуатации не превышает величины, определяемой по формуле

$$\delta A = \pm (0,5 + 0,05A)$$
дБ,

где А — измеряемое ослабление, дБ.

18) Погрешность измерения ослабления согласованных четырехполюсников (КСВН входов не более 1,3) при калибровке и измерении на фиксированной частоте в нормальных условиях эксплуатации не превышает величины, определяемой по формуле

$$\delta A = \pm (0,3 + 0,05A)$$
дБ,

где А — измеряемое ослабление, дБ.

19) Погрешность измерения ослабления согласованных четырехполюсников (КСВН входов не более 1,3) при калибровке во всем диапазоне рабочих частот в области рабочих температур (выходящих за пределы нормальных) не превышает величины, определяемой по формуле

$$\delta A = \pm (0,8+0,05A) \ \mathrm{d} \mathrm{E},$$

где А — измеряемое ослабление, дБ.

20) Погрешность измерения ослабления рассогласованных четырехполюсников (КСВН входов более 1,3) при калибровке и измерении в нормальных условиях эксплуатации не превышает величины, определяемых по формулам:

— во всем диапазоне рабочих частот

$$\delta A = \pm (0,5 + 0,05A + \Delta_A)$$
дБ;

— на фиксированной частоте

$$\delta A = \pm (0,3 + 0,05A + \Delta_A) \ \text{д} \text{Б},$$

где *A* — измеряемое ослабление, дБ;  $\Delta_A$ , дБ — дополнительная погрешность из-за рассогласования, которая зависит от КСВН измеряемого объекта и определяется из графика (см. рис. 1.2).



Рисунок 1.2 — Дополнительная погрешность из-за рассогласования измеряемого объекта

21) Уровень мощности в измерительном тракте прибора

— не более 10<sup>-5</sup> Вт.

22) Мощность, потребляемая измерителем от сети при нормальном напряжении

— не более 150 BA.

23) Волновые сопротивления и сечения исследуемых коаксиальных трактов

50 0м, сечение 7/3 мм; 50 0м, сечение 16/7 мм; 75 0м, сечение 16/4,6 мм.

24) Время самопрогрева измерителя

— 15 мин.

25) Измеритель допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение 8 часов при сохранении технических характеристик в пределах установленных норм.

26) Наработка на отказ не менее 1000 часов.

27) Габаритные размеры и масса:

— генератора качающейся частоты: не более 490 x 175 x 482 мм, 25 кг;

— индикатора: не более 490 x 175 x 482 мм, 20 кг;

— укладочных ящиков (с ЗИП): не более 483 x 138 x 375 мм, 8 кг,

\*ЗИП — запасные части, инструменты, принадлежности.

#### 1.4 Ключевые вопросы для допуска к лабораторным работам

1) Сформулируйте назначение панорамного измерителя РК2-47. Поясните все измеряемые параметры.

2) Назовите основные блоки панорамного измерителя РК2-47. Поясните их назначение.

3) Назовите и поясните режимы работы панорамного измерителя РК2-47.

4) Сформулируйте нормальные и рабочие условия эксплуатации панорамного измерителя РК2-47. Поясните их отличия.

5) Какая погрешность определения частоты панорамного измерителя РК2-47, от чего она зависит?

6) Назовите и поясните пределы индикации и измерения КСВН панорамного измерителя РК2-47.

7) Какая погрешность измерения КСВН панорамного измерителя РК2-47 в рабочих и нормальных условиях эксплуатации, от чего она зависит? Поясните причины их отличия.

8) Назовите и поясните пределы измерения коэффициента передачи (ослабления) панорамного измерителя РК2-47.

9) Какая погрешность измерения коэффициента передачи (ослабления) панорамного измерителя РК2-47 в рабочих и нормальных условиях эксплуатации, от чего она зависит? Поясните причины их отличия.

10) Какая погрешность измерения коэффициента передачи (ослабления) панорамного измерителя РК2-47 рассогласованных четырехполюсников? Поясните метод определения этой погрешности.

11) Назовите значения волнового сопротивления микроволнового тракта панорамного измерителя РК2-47 и поясните численные значения сечений микроволнового тракта.

## 1.5 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) Титульный лист установленного образца (см. Приложение Б).
- 2) Цель работы.
- 3) Задание на домашнее исследования и их результаты.
- 4) Задание на лабораторные исследования.
- 5) Результаты лабораторных исследований.
- б) Выводы.

Выводы по работе должны включать как констатируемую часть, отражающую основные полученные результаты, так и аналитическую, в которой проводится сравнительный анализ данных теоретического и экспериментального исследований, а также объяснение полученных результатов.

#### 2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Измерение частотной зависимости КСВН»

#### 2.1 Домашнее задание

1) Изучите теоретические положения (ключевые положения), используя методические указания, конспект лекций и рекомендованную литературу.

2) Решите задачу. В результате проведенных измерений параметров СВЧ устройства (коаксиального аттенюатора) при помощи панорамного измерителя РК2-47 на частотах  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  и  $f_5$  получены соответствующие значения КСВН (см. табл. 2.1). Измерения проводились на фиксированной частоте в нормальных условиях эксплуатации.

Таблица 2.1 – Результаты проведенных измерений

Частоты	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$
КСВН	K <sub>CT.U1</sub>	K <sub>CT.U2</sub>	K <sub>CT.U3</sub>	K <sub>CT.U4</sub>	K <sub>CT.U5</sub>

Численные значения частот и соответствующие значения КСВН приведены в Приложении В, и выбираются согласно варианту, определяемому последней цифрой номера зачетной книжки *n*.

Рассчитайте значения относительной погрешности измерения КСВН.

**Методические указания к решению домашней задачи**. Для расчета значений относительной погрешности измерения КСВН можно воспользоваться формулами п. 14) (см. Технические данные панорамного измерителя РК2-47).

3) Подготовьте ответы на ключевые вопросы (вопросы для допуска и к защите лабораторной работе).

4) Изучите инструкцию по эксплуатации панорамного измерителя РК2-47 (см. Приложение А, п. А.1, А.2).

5) Подготовьте бланк отчета по лабораторной работе, который включает титульный лист установленного образца (см. Приложение Б), цель работы (см. 2.1), решение задачи, структурную схему панорамного измерителя РК2-47 для измерения КСВН (см. Приложение А, рис. А.1).

#### 2.2 Лабораторное задание

1) Подготовьте панорамный измеритель РК2-47 к измерению КСВН (см. Приложение А, А.1).

2) Зафиксируйте значение минимального уровня напряжения опорного канала.

3) Осуществите калибровку панорамного измерителя РК2-47 для измерения КСВН (см. Приложение А, А.1.1, А.1.2).

4) Зафиксируйте максимальное значение неравномерности уровня калибровки.

5) Осуществите измерения КСВН входа СВЧ устройства (см. Приложение А, А.2) на заданных частотах (см. Приложение В).

Исследуемое СВЧ устройство выдается преподавателем, который проводит лабораторное занятие.

6) Зафиксируйте значения КСВН входа СВЧ устройства на заданных частотах (см. Приложение В).

#### 2.3 Вопросы к защите лабораторной работы:

1) Назовите и поясните основные этапы подготовки панорамного измерителя РК2-47 к измерению КСВН. Какой минимальный уровень напряжения опорного канала?

2) Поясните структурную схему панорамного измерителя РК2-47 для измерения КСВН, особенности включения рефлектометра.

3) Как производится калибровка панорамного измерителя РК2-47 для панорамного измерения КСВН?

4) Как производится калибровка панорамного измерителя РК2-47 для измерения КСВН на фиксированной частоте?

5) Назовите режимы панорамного измерения КСВН при помощи измерителя РК2-47. Поясните порядок работы с измерителем РК2-47 в режиме качания частоты.

6) Назовите режимы панорамного измерения КСВН при помощи измерителя РК2-47. Поясните порядок работы с измерителем РК2-47 в режиме ручной перестройки частоты.

7) Как производится измерение КСВН на фиксированной частоте при помощи измерителя РК2-47?

## 3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Измерение коэффициента передачи (ослабления)»

#### 3.1 Домашнее задание

1) Изучите теоретические положения (ключевые положения), используя методические указания, конспект лекций и рекомендованную литературу.

2) Решите задачу. В результате проведенных измерений параметров СВЧ устройства (коаксиального аттенюатора) при помощи панорамного измерителя РК2-47 на частотах  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$  и  $f_5$  получены соответствующие значения коэффициента передачи (ослабления) (см. табл. 3.1). Измерения проводились на фиксированной частоте в нормальных условиях эксплуатации. КСВН входа СВЧ устройства (коаксиального аттенюатора) на частотах измерения не превышало значения 1,3.

Таблица 3.1 – Результаты проведенных измерений

Частоты	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$
Ослабление	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$

Численные значения частот и соответствующие значения коэффициента передачи (ослабления) приведены в Приложении В, и выбираются согласно варианту, определяемому предпоследней цифрой номера зачетной книжки *m*.

Рассчитайте значения относительной погрешности измерения коэффициента передачи (ослабления).

Методические указания к решению домашней задачи. Для расчета значений относительной погрешности измерения коэффициента передачи (ослабления) можно воспользоваться формулой п. 18) (см. Технические данные панорамного измерителя РК2-47).

3) Подготовьте ответы на ключевые вопросы (вопросы для допуска и к защите лабораторной работе).

4) Изучите инструкцию по эксплуатации панорамного измерителя РК2-47 (см. Приложение А, п. АЗ, А4).

5) Подготовьте бланк отчета по лабораторной работе, который включает титульный лист установленного образца (см. Приложение Б), цель работы (см. 2.1), решение задачи, структурную схему панорамного измерителя РК2-47 для измерения коэффициента передачи (см. Приложение А, рис. А.2).

#### 3.2 Лабораторное задание

1) Подготовьте панорамный измеритель РК2-47 к измерению ослабления (см. Приложение А, А.3).

2) Зафиксируйте значение минимального уровня напряжения опорного канала.

3) Осуществите калибровку панорамного измерителя РК2-47 для измерения ослабления (см. Приложение А, А.3.1, А.3.2).

4) Зафиксируйте максимальное значение неравномерности уровня калибровки.

5) Осуществите измерения ослабления СВЧ устройства (см. Приложение А., А.4) на заданных частотах (см. Приложение В).

Исследуемое СВЧ устройство выдается преподавателем, который проводит лабораторное занятие.

6) Зафиксируйте значения ослабления СВЧ устройства на заданных частотах (см. Приложение В).

#### 3.3 Вопросы к защите лабораторной работы:

1) Назовите и поясните основные этапы подготовки панорамного измерителя РК2-47 к измерению коэффициента передачи (ослабления). Какой минимальный уровень напряжения опорного канала?

2) Поясните структурную схему панорамного измерителя РК2-47 для измерения коэффициента передачи (ослабления).

3) Как производится калибровка панорамного измерителя РК2-47 для панорамного измерения коэффициента передачи (ослабления)?

4) Как производится калибровка панорамного измерителя РК2-47 для измерения коэффициента передачи (ослабления) на фиксированной частоте?

5) Назовите режимы панорамного измерения коэффициента передачи (ослабления) при помощи измерителя РК2-47. Поясните порядок работы с измерителем РК2-47 в режиме качания частоты.

6) Назовите режимы панорамного измерения коэффициента передачи (ослабления) при помощи измерителя РК2-47. Поясните порядок работы с измерителем РК2-47 в режиме ручной перестройки частоты.

7) Назовите режимы панорамного измерения коэффициента передачи (усиления) при помощи измерителя РК2-47. Поясните порядок работы с изме-

рителем РК2-47 в режиме качания частоты.

8) Назовите режимы панорамного измерения коэффициента передачи (усиления) при помощи измерителя РК2-47. Поясните порядок работы с измерителем РК2-47 в режиме ручной перестройки частоты.

9) Как производится измерение коэффициента передачи (ослабления) на фиксированной частоте при помощи измерителя РК2-47?

10) Как производится измерение коэффициента передачи (усиления) на фиксированной частоте при помощи измерителя РК2-47?

11) Поясните процедуру измерений при помощи измерителя РК2-47 в логарифмическом режиме.

#### РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1) Винокуров В.И. Электрорадиоизмерения: учеб. пособ. для радиотехнич. спец. вузов / Винокуров В.И., Каплин С.И., ПетелинИ.Г.; под ред. В.И. Винокурова. — [2-е изд., перераб. и доп.]. — М.: Высш. школа., 1986. — 351 с.

2) Фрадин А.З. Измерения параметров антенно-фидерных устройств /А. З. Фрадин, Е. В. Рыжков. — [2-е изд., доп.] — М.: Связь, 1972. — 352 с.

3) White J. F. High frequency techniques. An introduction to RF and microwave engineering / White J. F. — A John Wiley & Sons, 2004. — 526 p.

4) Dehe A. Microwave measurements / [A. Dehe, K. Beilenhoff, K. Fricke, et.al.] — CRC Press LLC, 2000. — 25 p.

5) Ghannouchi F.M. The six-port technique with microwave and wireless applications / Fadhel M. Ghannouchi, Abbas Mohammadi. — Artech House, 2009. — 245 p.

## Приложение А

## Инструкция по эксплуатации панорамного измерителя РК2-47

## А.1 Подготовка к проведению измерений КСВН

1) Соберите рабочее место согласно схеме, приведенной на рис. А.1.



Рисунок А.1 — Электрическая структурная схема панорамного измерителя РК2-47 для калибровки и измерения КСВН

- 2) Установите на лицевой панели ГКЧ:
- ручки ступенчатого аттенюатора «▼ **dB**» в положение «**0**»;
- переключатель «АРМ» в положение «ВНЕШ.»;
- переключатель «РЕЖИМ» в положение «АМ 100 кHz»;
- переключатель «ПЕРИОД S» в положение «0,08»;
- переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение « $F_{HA4/KOH}$ ».

3) Выставьте первый поддиапазон качания частоты, для чего установите:

— переключатель «**МНz**» в положение «**0,5** – **610**»;

— переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>НАЧ</sub>»;

— ручкой F<sub>HAЧ</sub> визир на отметку «20» по частотной шкале первого поддиапазона;

— переключатель «**РУЧН. МЕТКА**» в положение « $F_{KOH}$ »;

— ручкой  $F_{KOH}$  визир на отметку «610» по частотной шкале первого поддиапазона.

4) Установите на задней панели ГКЧ тумблер «БЛАНК.» в верхнее положение, что соответствует положению «ОТКЛ.».

5) Установите на лицевой панели индикатора:

— кнопку «КОРРЕК.» в ненажатом положении;

— кнопку «-10 dB» в нажатом положении;

— кнопку «ЛОГ.» в ненажатом положении;

— кнопку «М» в нажатом положении;

— переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в положение «ПАД.».

6) Установите ось резистора «КОНТР. УРОВЕНЬ» в крайнее левое положение, тумблер «СМЕЩЕНИЕ» в положение «+» на задней панели индикатора.

7) Включите ГКЧ и индикатор и дайте им прогреться в течение 15 мин.

8) Установите, вращая ручку «**ОТСЧЕТ**» (индикатор), визир индикатора на отметку «**0**,**6**» по шкале mV. На экране ЭЛТ наблюдаются:

— линия электронного визира, положение которой регулируется ручкой «ОТСЧЕТ»;

— линия падающей мощности, регулируемая ручками «ПАД.» (индикатор), «УРОВЕНЬ» (ГКЧ);

— линия контрольного уровня.

9) Добейтесь с помощью ручек «УРОВЕНЬ» и «ПАД.», чтобы линия падающей мощности совпала с линией электронного визира. При необходимости допускается введение ослабления ступенчатого аттенюатора ручками «▼ dB».

10) Выставьте второй поддиапазон качания частоты, для чего переведите переключатель «**МНz**» в положение «610 – 1250» и установите на лицевой панели ГКЧ:

— переключатель «**РУЧН. МЕТКА**» в положение « $F_{HAY}$ »;

— ручкой F<sub>НАЧ</sub> визир на отметку «610» по частотной шкале второго поддиапазона;

— переключатель «**РУЧН. МЕТКА**» в положение « $F_{KOH}$ »;

— ручкой  $F_{KOH}$  визир на отметку «**1250**» по частотной шкале второго поддиапазона. 11) Проверьте совпадение линии падающей мощности с линией электронного визира.

12) Подключите к входу  $Z_X$  мостового рефлектометра короткозамкнутую муфту (для рефлектометра с трактом 7/3 мм) или короткозамыкатель (для рефлектометров с трактами 16/7 и 16/4,6 мм).

13) Проверьте совпадение линии падающей мощности с линией электронного визира.

#### А.1.1 Подготовка к панорамному измерению КСВН

1) Установите переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в положение «0». При этом вместо линии падающей мощности на экране ЭЛТ наблюдается линия калибровки, регулируемая ручкой «КАЛИБР.».

2) Установите ручкой «**ОТСЧЕТ**» (индикатор) визир на отметку «**0**» по верхней шкале dB или на отметку «∞» по шкале КСВ.

3) Добейтесь, вращая ручку «КАЛИБР.», чтобы линия калибровки располагалась вблизи электронного визира.

4) Измерьте неравномерность линии калибровки по следующей методике:

— выставьте поочередно первый и второй поддиапазоны качания частоты и определите положения самой верхней  $A_1$  и самой нижней  $A_2$  точек линии калибровки во всем диапазоне рабочих частот;

— совместите ручкой «**OTCЧЕТ**», выставив соответствующий поддиапазон, линию визира с самой верхней точкой линии калибровки  $A_1$ , затем с самой нижней точкой линии калибровки  $A_2$ . В обоих случаях произведите отсчеты по верхней шкале dB;

— вычислите неравномерность линии калибровки по формуле

$$N = \frac{A_1 - A_2}{2},$$

где A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub> — результаты отсчетов, дБ.

5) Неравномерность N не должна превышать  $\pm 0,3$  дБ.

**Примечание.** При неравномерности N, превышающей ±0,3 дБ, выполните коррекцию линии калибровки по следующей методике:

— нажмите кнопку «КОРРЕК.»;

— установите все оси резисторов «АМПЛ.», «ШИР.», «ПОЛОЖ.» в крайнее левое положение;

— совместите, вращая ось резистора «ПОЛОЖ.» верхнего ряда, колоколообразный импульс с местом линии калибровки, которое надо откорректировать;

— установите с помощью резистора «ШИР.» того же ряда ширину компенсирующего импульса. Ели при этом наблюдается изменение положения компенсирующего импульса, восстановите положение с помощью потенциометра «ПОЛОЖ.»;

— установите с помощью резистора «АМПЛ.» амплитуду и полярность компенсирующего импульса так, чтобы компенсация была наилучшей. При необходимости допускается уточнение коррекции, производимое осторожным поворотом всех осей резисторов верхнего ряда поочередно;

— произведите аналогично коррекцию оставшейся неравномерности, используя оставшиеся три ряда осей резисторов;

— измерьте после коррекции неравномерность линии калибровки согласно методике, изложенной выше в данном пункте.

6) Произведите калибровку прибора по следующей методике:

— выставьте поддиапазон, в котором находится самая верхняя точка линии калибровки A<sub>1</sub>;

— установите ручкой «**OTCЧЕТ**» визир на отметку верхней шкалы, соответствующую абсолютной величине измеренной неравномерности линии калибровки N;

— совместите ручкой «КАЛИБР.» самую верхнюю точку линии калибровки с линией электронного визира.

#### А.1.2 Подготовка к измерению КСВН на фиксированной частоте

1) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

2) Установите ручкой «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР.</sub>» (ГКЧ) визир на отметку частотной шкалы, соответствующую частоте измерения.

3) Установите ручками « $\mathbf{F}_{HAH}$ » и « $\mathbf{F}_{KOH}$ » такой диапазон качания частоты, чтобы на экране ЭЛТ наблюдалась метка. Амплитуду метки регулируйте ручкой «**METKA**» (индикатор).

4) Установите переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в положение «О».

5) Установите ручкой «**OTCHET**» визир на отметку «**0**» по верхней шкале dB или на отметку « $\infty$ » по шкале КСВ.

6) Совместите ручкой «КАЛИБР.» точку линии калибровки в месте нахождения частотной метки с линией визира.

7) Отключите от входа мостового рефлектометра короткозамыкатель (короткозамкнутую муфту).

8) Совместите ручкой «**OTCЧЕТ**» визир с линией калибровки в месте нахождения частотной метки и произведите отсчет *A* по верхней шкале dB.

9) Вычислите величину В по формуле

$$B=\frac{A}{2},$$

где А — результат отсчета, дБ.

10) Установите ручкой «**ОТСЧЕТ**» визир на отметку, соответствующую значению *В* по верхней шкале с учетом знака.

11) Совместите ручкой «КАЛИБР.» линию калибровки с линией визира в месте нахождения частотной метки.

## А.2 Проведение измерений КСВН

## А.2.1 Панорамное измерение КСВН

В зависимости от вида выполняемой работы может быть выбран один из следующих режимов измерений:

— режим качания частоты, который рекомендуется применять для измерений при настройке и наладке узлов, где необходимо определение пределов измерения измеряемой величины;

— режим ручной перестройки частоты, который рекомендуется использовать при измерениях малых отражений и больших ослаблений.

#### Порядок работы с прибором в режиме качания частоты следующий.

1) Подсоедините к измерительному входу « $Z_X$ » мостового рефлектометра измеряемый объект (см. рис. А.1).

2) Установите переключателем «ПЕРИОД S» желаемый период развертки: 0,02; 0,08; 1 или 40 с. При периоде 40 с запуск развертки осуществляется кнопкой «ПУСК». Периоды развертки 1 и 40 с рекомендуются при панорамном измерении малых КСВН. Нажмите при этом кнопку «Л».

3) Поставьте переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в положение, при котором кривая КСВН располагается на экране удобно для наблюдения и измерения (вблизи середины экрана).

4) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

5) Установите с помощью ручки «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГКЧ) визир на отметку частотной шкалы, соответствующую частоте, на которой производится измерение.

6) Совместите, вращая ручку «**OTCЧЕТ**», линию электронного визира с кривой КСВН в месте нахождения частотной метки. Амплитуду метки (при необходимости) регулируйте ручкой «**METKA**» (индикатор).

7) Отсчитайте измеренное значение КСВН по шкале КСВ (нижняя шкала шкального устройства).

Порядок работы с прибором в режиме ручной перестройки частоты следующий.

8) Нажмите кнопку «**Л**».

9) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

10) Установите ручкой «МЕТКА – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГКЧ) желаемую частоту.

11) Установите переключатель «ПЕРИОД S» в положение «РУЧ.».

12) Установите ручку «МЕТКА» (индикатор) в среднее положение.

13) Добейтесь ручкой «РУЧ.» всплеска метки на экране ЭЛТ.

14) Установите ручку «МЕТКА» (индикатор) в крайнее левое положение.

15) Отсчитайте измеренное значение КСВН по шкале КСВ (нижняя шкала шкального устройства).

## А.2.2 Измерение КСВН на фиксированной частоте

Измерение производится по следующей методике.

1) Подсоедините к входу « $Z_X$ » мостового рефлектометра измеряемый объект (см. рис. А.1).

2) Установите переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в такое положение, при котором характеристика КСВН располагается вблизи середины экрана ЭЛТ.

3) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

4) Установите с помощью ручки «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГКЧ) визир на отметку частотной шкалы, соответствующую частоте, на которой производится измерение.

5) Совместите ручкой «**ОТСЧЕТ**» линию визира с линией характеристики КСВН в месте нахождения частотной метки.

6) Отсчитайте измеренное значение КСВН по шкале КСВ (нижняя шкала шкального устройства).

## А.З Подготовка к проведению измерений коэффициента передачи

1) Соберите рабочее место согласно схеме, приведенной на рис. А.2.



Рисунок А.2 — Электрическая структурная схема панорамного измерителя РК2-47 для калибровки и измерения коэффициента передачи

2) Установите на лицевой панели ГКЧ:

— ручки ступенчатого аттенюатора «**▼ dB**» в положение «7 дБ»;

— переключатель «АРМ» в положение «ВНЕШ.»;

— переключатель «РЕЖИМ» в положение «АМ 100 кHz»;

— переключатель «ПЕРИОД S» в положение «0,08»;

— переключатель «РОД РАБОТЫ» в положение « $F_{HA4/KOH}$ ».

3) Выставьте первый поддиапазон качания частоты, для чего установите:

— переключатель «**МНz**» в положение «**0**,**5** – **610**»;

— переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>НАЧ</sub>»;

— ручкой F<sub>НАЧ</sub> визир на отметку «20» по частотной шкале первого поддиапазона;

— переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>кон</sub>»;

— ручкой  $F_{\text{KOH}}$  визир на отметку «610» по частотной шкале первого поддиапазона.

4) Установите на задней панели ГКЧ тумблер «БЛАНК.» в верхнее положение, что соответствует положению «ОТКЛ.».

5) Установите на лицевой панели индикатора:

— кнопку «КОРРЕК.» в не нажатом положении;

— кнопку «-10 dB» в нажатом положении;

— кнопку «ЛОГ.» в не нажатом положении;

— кнопку «**М**» в нажатом положении;

— переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в положение «ПАД.».

6) Установите ось резистора «КОНТР. УРОВЕНЬ» в крайнее левое положение, тумблер «СМЕЩЕНИЕ» в положение «+» на задней панели индикатора.

7) Включите ГКЧ и индикатор и дайте им прогреться в течение 15 мин.

8) Установите, вращая ручку «**ОТСЧЕТ**» (индикатор), визир индикатора в интервале от 2 до 5 мВ по шкале mV. На экране ЭЛТ наблюдаются:

— линия электронного визира, положение которой регулируется ручкой «ОТСЧЕТ»;

— линия падающей мощности, регулируемая ручками «ПАД.» (индикатор), «УРОВЕНЬ» (ГКЧ);

— линия контрольного уровня.

9) Выберите с помощью ручек «УРОВЕНЬ» и «ПАД.» уровень падающей мощности минимальным в интервале от 2 до 5 мВ по шкале mV, при котором линия падающей мощности была ровная. При необходимости допускается введение ослабления ступенчатого аттенюатора ручками «▼ dB».

10) Выставьте второй поддиапазон качания частоты, для чего переведите переключатель «**МНz**» в положение «610 – 1250» и установите на лицевой панели ГКЧ:

— переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>НАЧ</sub>»;

— ручкой  $F_{HAY}$  визир на отметку «610» по частотной шкале второго поддиапазона;

— переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>кон</sub>»;

— ручкой  $F_{KOH}$  визир на отметку «1250» по частотной шкале второго поддиапазона.

11) Выберите с помощью ручек «УРОВЕНЬ» и «ПАД.» уровень падающей мощности минимальным в интервале от 2 до 5 мВ по шкале mV, при котором падающая мощность еще стабилизирована (линия падающей мощности ровная в обоих поддиапазонах).

#### А.З.1 Подготовка к панорамному измерению коэффициента передачи

1) Установите переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в положение «0». При этом вместо линии падающей мощности на экране ЭЛТ наблюдается линия калибровки, регулируемая ручкой «КАЛИБР.».

2) Установите ручкой «**ОТСЧЕТ**» (индикатор) визир на отметку «**0**» по верхней шкале dB.

3) Добейтесь, вращая ручку «КАЛИБР.», чтобы линия калибровки распо-

лагалась вблизи электронного визира.

4) Измерьте неравномерность линии калибровки по следующей методике:

— выставьте поочередно первый и второй поддиапазоны качания частоты и определите положения самой верхней  $A_1$  и самой нижней  $A_2$  точек линии калибровки во всем диапазоне рабочих частот;

— совместите ручкой «**OTCЧЕТ**», выставив соответствующий поддиапазон, линию визира с самой верхней точкой линии калибровки  $A_1$ , затем с самой нижней точкой линии калибровки  $A_2$ . В обоих случаях произведите отсчеты по верхней шкале dB;

— вычислите неравномерность линии калибровки по формуле

$$N = \frac{A_1 - A_2}{2},$$

где A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub> — результаты отсчетов, дБ.

5) Неравномерность N не должна превышать  $\pm 0,3$  дБ.

**Примечание.** При неравномерности *N*, превышающей ±0,3 дБ, выполните коррекцию линии калибровки по следующей методике:

— нажмите кнопку «КОРРЕК.»;

— установите все оси резисторов «АМПЛ.», «ШИР.», «ПОЛОЖ.» в крайнее левое положение;

— совместите, вращая ось резистора «ПОЛОЖ.» верхнего ряда, колоколообразный импульс с местом линии калибровки, которое надо откорректировать;

— установите с помощью резистора «ШИР.» того же ряда ширину компенсирующего импульса. Ели при этом наблюдается изменение положения компенсирующего импульса, восстановите положение с помощью потенциометра «ПОЛОЖ.»;

— установите с помощью резистора «АМПЛ.» амплитуду и полярность компенсирующего импульса так, чтобы компенсация была наилучшей. При необходимости допускается уточнение коррекции, производимое осторожным поворотом всех осей резисторов верхнего ряда поочередно;

— произведите аналогично коррекцию оставшейся неравномерности, используя оставшиеся три ряда осей резисторов;

— измерьте после коррекции неравномерность линии калибровки согласно методике, изложенной выше в данном пункте.

6) Произведите калибровку прибора по следующей методике:

— выставьте поддиапазон, в котором находится самая верхняя точка линии калибровки A<sub>1</sub>;

— установите ручкой «**OTCЧЕТ**» визир на отметку верхней шкалы, соответствующую абсолютной величине измеренной неравномерности линии калибровки N;

— совместите ручкой «КАЛИБР.» самую верхнюю точку линии калибровки с линией электронного визира.

# А.З.2 Подготовка к измерению коэффициента передачи на фиксированной частоте

1) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

2) Установите ручкой «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР.</sub>» (ГКЧ) визир на отметку частотной шкалы, соответствующую частоте измерения.

3) Установите ручками « $\mathbf{F}_{HAH}$ » и « $\mathbf{F}_{KOH}$ » такой диапазон качания частоты, чтобы на экране ЭЛТ наблюдалась метка. Амплитуду метки регулируйте ручкой «МЕТКА» (индикатор).

3) Установите переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в положение «О».

4) Установите ручкой «ОТСЧЕТ» визир на отметку «О» по шкале dB.

5) Совместите ручкой «КАЛИБР.» линию калибровки с линией визира в месте нахождения частотной метки.

**Примечание.** Погрешность измерения ослабления (коэффициента передачи) гарантируется с элементами СВЧ тракта (переходами, аттенюаторами – переходами и т. д.), входящими в комплект поставки прибора РК2-47 и сочлененными, как указано в «Техническом описании и инструкции по эксплуатации».

#### А.4 Проведение измерений коэффициента передачи

#### А.4.1 Панорамное измерение коэффициента передачи (ослабления)

Панорамное измерение коэффициента передачи, меньшего 1 (ослабление), производится в одном из следующих режимов измерений:

— режим качания частоты, который рекомендуется применять для измерений при настройке и наладке узлов, где необходимо определение пределов измерения измеряемой величины;

— режим ручной перестройки частоты, который рекомендуется использовать при измерениях малых отражений и больших ослаблений.

#### Порядок работы с прибором в режиме качания частоты следующий.

1) Подсоедините исследуемый объект в измерительную цепь согласно схеме, приведенной на рис. А.2.

2) Установите переключателем «ПЕРИОД S» желаемый период развертки: 0,02; 0,08; 1 или 40 с. При периоде 40 с запуск развертки осуществляется кнопкой «ПУСК». Периоды развертки 1 и 40 с рекомендуются при панорамном измерении малых КСВН. Нажмите при этом кнопку «Л».

3) Поставьте переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в положение, при котором кривая ослабления располагается на экране удобно для наблюдения и измерения (вблизи середины экрана). 4) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

5) Установите с помощью ручки «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГКЧ) визир на отметку частотной шкалы, соответствующую частоте, на которой производится измерение.

6) Совместите, вращая ручку «**OTCЧЕТ**», линию электронного визира с линией характеристики ослабления в желаемом месте, контролируя частоту по частотной метке. Амплитуду метки (при необходимости) регулируйте ручкой «**METKA**» (индикатор).

7) Отсчитайте измеренное значение ослабления по верхней шкале dB. Результат измерения в децибелах равен алгебраической сумме показаний шкального устройства и переключателя «ПРЕДЕЛЫ».

# Порядок работы с прибором в режиме ручной перестройки частоты следующий.

8) Нажмите кнопку «**Л**».

9) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

10) Установите ручкой «МЕТКА – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГКЧ) желаемую частоту.

11) Установите переключатель «ПЕРИОД S» в положение «РУЧ.».

12) Установите ручку «МЕТКА» (индикатор) в среднее положение.

13) Добейтесь ручкой «РУЧ.» всплеска метки на экране ЭЛТ.

14) Установите ручку «МЕТКА» (индикатор) в крайнее левое положение.

15) Отсчитайте измеренное значение ослабления по верхней шкале dB. Результат измерения в децибелах равен алгебраической сумме показаний шкального устройства и переключателя «ПРЕДЕЛЫ».

## А.4.2 Панорамное измерение коэффициента передачи (усиления)

Панорамное измерение коэффициента передачи, большего 1 (усиление), производится в одном из следующих режимов измерений:

— режим качания частоты, который рекомендуется применять для измерений при настройке и наладке узлов, где необходимо определение пределов измерения измеряемой величины;

— **режим ручной перестройки частоты**, который рекомендуется использовать при измерениях малых отражений и больших ослаблений.

#### Порядок работы с прибором в режиме качания частоты следующий.

1) Установите ступенчатый аттенюатор «**▼ dB**» (ГКЧ) на максимальное ослабление «70 дБ».

2) Подсоедините исследуемый объект в измерительную цепь согласно схеме, приведенной на рис. А.2.

3) Установите переключателем «ПЕРИОД S» желаемый период развертки: 0,02; 0,08; 1 или 40 с. При периоде 40 с запуск развертки осуществляется кнопкой «ПУСК». Периоды развертки 1 и 40 с рекомендуются при панорамном измерении малых КСВН. Нажмите при этом кнопку «Л».

4) Уменьшайте постепенно ослабление ступенчатого аттенюатора до тех пор, пока частотная характеристика коэффициента передачи не расположится вблизи середины экрана ЭЛТ.

5) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

6) Установите с помощью ручки «**МЕТКА** – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГКЧ) визир на отметку частотной шкалы, соответствующую частоте, на которой производится измерение.

7) Совместите, вращая ручку «**OTCЧЕТ**», линию электронного визира с линией частотной характеристики коэффициента передачи в желаемом месте, контролируя частоту по частотной метке. Амплитуду метки (при необходимости) регулируйте ручкой «**METKA**» (индикатор).

8) Вычислите результат измерения А по формуле

 $A = A_{\mathrm{III}} + A_{\mathrm{ATTEH. } \mathrm{II}} + A_{\mathrm{AHTTEH. } \mathrm{K}},$ 

где *А*<sub>Ш</sub> — показание шкального устройства, дБ;

А<sub>АТТЕН. И</sub> — ослабление ступенчатого аттенюатора при измерении, дБ;

А<sub>АТТЕН. К</sub> — ослабление ступенчатого аттенюатора при калибровки, дБ.

## Порядок работы с прибором в режиме ручной перестройки частоты следующий.

9) Нажмите кнопку «**Л**».

10) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение « $F_{ЦЕНТР}$ ».

11) Установите ручкой «МЕТКА – F<sub>ЦЕНТР</sub>» (ГКЧ) желаемую частоту.

12) Установите переключатель «ПЕРИОД S» в положение «РУЧ.».

13) Установите ручку «МЕТКА» (индикатор) в среднее положение.

14) Добейтесь ручкой «РУЧ.» всплеска метки на экране ЭЛТ.

15) Установите ручку «МЕТКА» (индикатор) в крайнее левое положение.

16) Отсчитайте измеренное значение ослабления A<sub>Ш</sub> по верхней шкале dB.

17) Вычислите результат измерения А по формуле

$$A = A_{\mathrm{III}} + A_{\mathrm{ATTEH. } \mathrm{H}} + A_{\mathrm{AHTTEH. } \mathrm{K}},$$

где *А*<sub>Ш</sub> — показание шкального устройства, дБ;

 $A_{\text{АТТЕН. И}}$  — ослабление ступенчатого аттенюатора при измерении, дБ;  $A_{\text{АТТЕН. K}}$  — ослабление ступенчатого аттенюатора при калибровки, дБ.

## А.4.3 Измерение коэффициента передачи на фиксированной частоте

Измерение коэффициента передачи, меньшего 1 (ослабление), на фиксированной частоте производится по следующей методике.

1) Подсоедините исследуемый объект в измерительную цепь согласно схеме, приведенной на рис. А.2.

2) Установите переключатель «ПРЕДЕЛЫ» в такое положение, при котором характеристика ослабления располагается вблизи середины экрана.

3) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

4) Установите с помощью ручки «**МЕТКА** –  $\mathbf{F}_{\text{ЦЕНТР}}$ » (ГКЧ) визир на отметку частотной шкалы, соответствующую частоте, на которой производится измерение.

5) Совместите ручкой «**ОТСЧЕТ**» линию визира с линией характеристики ослабления в месте нахождения частотной метки.

6) Отсчитайте измеренное значение ослабления по верхней шкале dB. Результат измерения в децибелах равен алгебраической сумме показаний шкального устройства и переключателя «ПРЕДЕЛЫ».

# Измерение коэффициента передачи, большего 1 (усиление), на фиксированной частоте производится по следующей методике.

1) Установите ступенчатый аттенюатор «**VdB**» (ГКЧ) на максимальное ослабление «**70** д**Б**».

2) Подсоедините исследуемый объект в измерительную цепь согласно схеме, приведенной на рис. А.2.

3) Уменьшайте постепенно ослабление ступенчатого аттенюатора « $\nabla dB$ » (ГКЧ) до тех пор, пока частотная характеристика коэффициента передачи не расположится вблизи середины экрана.

4) Установите переключатель «РУЧН. МЕТКА» в положение «F<sub>ЦЕНТР</sub>».

5) Установите с помощью ручки «МЕТКА –  $F_{ЦЕНТР}$ » (ГКЧ) визир на отметку частотной шкалы, соответствующую частоте, на которой производится измерение.

6) Совместите ручкой «**ОТСЧЕТ**» линию визира с линией характеристики ослабления в месте нахождения частотной метки.

7) Отсчитайте измеренное значение ослабления A<sub>Ш</sub> по верхней шкале dB.

8) Вычислите результат измерения А по формуле

 $A = A_{\text{III}} + A_{\text{ATTEH. M}} + A_{\text{AHTTEH. K}},$ 

где  $A_{III}$  — показание шкального устройства, дБ;

*А*<sub>АТТЕН. И</sub> — ослабление ступенчатого аттенюатора при измерении, дБ; *А*<sub>АТТЕН. К</sub> — ослабление ступенчатого аттенюатора при калибровки, дБ.

## А.5 Работа в логарифмическом режиме

1) Нажмите кнопку «ЛОГ.»

2) Включите измеряемый объект в измерительную цепь согласно соответствующей методике измерения КСВН (см. рис. А.1) или коэффициента передачи (см. рис. А.2).

Частотную характеристику КСВН или ослабления можете наблюдать непосредственно на экране ЭЛТ.

3) Произведите отсчет ослабления с помощью электронного визира, результат отсчитайте по нижней шкале dB.

При измерении КСВН переведите результат из децибел в единицы КСВН.

4) Увеличивайте при измерении усиления ослабление ступенчатого аттенюатора « $\mathbf{\nabla} \mathbf{dB}$ » (ГКЧ) до тех пор, пока характеристика ослабления не расположится в рабочей части экрана ЭЛТ. При этом к результату отсчета прибавьте величину, на которую увеличилось ослабление аттенюатора.

## Приложение Б

## Титульный лист установленного образца

Министерство образования и науки Украины Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова

Кафедра технической электродинамики и систем радиосвязи

## ОТЧЕТ

по лабораторной работе

«Измерения КСВН входа антенн и микроволновых трактов на основе панорамного измерителя РК2-47»

Измерение частотной зависимости КСВН

Выполнил: студент гр. Р 5.203 Петров Петр Петрович Номер зачетной книжки 000001

Проверил: проф. каф. ТЭД и СРС Проценко М.Б.

## Приложение В

# Исходные данные для выполнения домашних и лабораторных заданий на 2014/15 уч. год

Исходные данные к лабораторной работе «Измерения КСВН и коэффициентов передачи микроволновых устройств на основе панорамного измерителя РК2-47. Измерение частотной зависимости КСВН»

Вариант $n = 0$					
f, МГц	110	120	130	140	150
КСВН	2,5	2,1	1,3	1,1	1,5
Вариант $n=1$					
f, МГц	250	260	270	280	290
КСВН	3,0	2,4	1,8	1,2	1,9
Вариант $n = 2$			-	-	
f, МГц	310	320	330	340	350
КСВН	2,3	2,1	1,8	1,6	1,4
Вариант $n = 3$			•	•	
f, МГц	450	460	470	480	490
КСВН	1,5	1,3	1,9	2,1	2,3
Вариант $n = 4$			-	-	
f, МГц	510	520	530	540	550
КСВН	1,2	1,1	1,6	2,2	2,8
Вариант $n = 5$			•	•	
f, МГц	650	660	670	680	690
КСВН	1,3	1,5	1,8	2,2	2,6
Вариант $n = 6$			-	-	
f, МГц	710	720	730	740	750
КСВН	3,3	2,6	1,9	1,5	1,3
Вариант $n = 7$					
f, МГц	850	860	870	880	890
КСВН	3,1	2,4	1,9	1,3	1,6
Вариант $n = 8$			-	-	
f, МГц	910	920	930	940	950
КСВН	2,2	2,1	1,8	1,7	1,6
Вариант $n = 9$			•	-	
<i>f</i> , МГц	1050	1060	1070	1080	1090
КСВН	1,5	1,7	1,9	2,1	2,5

## Исходные данные для выполнения домашних и лабораторных заданий на 2014/15 уч. год (продолжение)

Исходные данные к лабораторной работе «Измерения КСВН и коэффициентов передачи микроволновых устройств на основе панорамного измерителя РК2-47. Измерение коэффициента передачи (ослабления)»

Вариант $m = 0$					
f, МГц	110	120	130	140	150
Ослабление, дБ	3,1	3,3	3,2	3,0	2,9
Вариант $m=1$					
f , МГц	250	260	270	280	290
Ослабление, дБ	10,1	10,3	10,2	10,0	9,9
Вариант $m = 2$					
f , МГц	310	320	330	340	350
Ослабление, дБ	20,3	20,2	20,1	19,9	19,8
Вариант $m = 3$					
f , МГц	450	460	470	480	490
Ослабление, дБ	2,9	3,0	3,2	3,3	3,0
Вариант $m = 4$					
f , МГц	510	520	530	540	550
Ослабление, дБ	9,8	9,9	10,0	10,1	10,2
Вариант $m = 5$					
f , МГц	650	660	670	680	690
Ослабление, дБ	19,9	20,0	20,2	20,1	19,8
Вариант $m = 6$					
f , МГц	710	720	730	740	750
Ослабление, дБ	3,3	3,2	3,1	3,0	2,9
Вариант $m = 7$					
f, МГц	850	860	870	880	890
Ослабление, дБ	10,1	10,0	9,9	9,8	9,7
Вариант $m=8$					
f , МГц	910	920	930	940	950
Ослабление, дБ	21,9	21,5	21,1	20,8	20,5
Вариант $m = 9$					
<i>f</i> , МГц	1050	1060	1070	1080	1090
Ослабление, дБ	3,4	3,2	3,3	3,1	2,9

Навчально-методичне видання

Проценко М.Б., Гринь М.С.

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

## «Вимірювання КСХН та коефіцієнтів передачі мікрохвильових пристроїв на основі панорамного вимірювача РК2-47»

з дисципліни «Радіовимірювальні пристрої

### мікрохвильового діапазону»

для студентів денної та заочної форм навчання навчально-наукового інституту радіо, телебачення та інформаційної безпеки

Здано до складання 16.12.2014. Підписано до друку 14.01.2015. Обсяг 4,0 друк. арк. Формат 60х88/16 Зам. № 5. Наклад 50 прим. Віддруковано на видавничому устаткуванні фірми RISO у друкарні редакційно-видавничого центру ОНАЗ ім. О.С. Попова

Україна, 65029, м. Одеса, вул. Ковалевського, 5 **ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2014**