

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕКТОРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ЦЕПЕЙ МИКРОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Теслин П.А., Кузюков А.Н.*

*Белошицкий А.П. – к.т.н., доцент*

Достижения в области теории и техники микроволнового диапазона открывают принципиально новые возможности создания и развития систем скоростной передачи информации, систем радиолокации и радионавигации, радиоразведки и радиопротиводействия, систем связи и телевидения. Для определения параметров и характеристик этих систем и их компонентов наиболее часто используются векторные анализаторы цепей (ВАЦ) [1,2]. Для практического применения этих анализаторов необходимо определение их метрологических характеристик (МХ) по специально разработанным методикам.

В докладе рассматривается методика калибровки ВАЦ Р4-МВМ-118. Анализатор предназначен для автоматизированного исследования волноводных устройств микроволнового диапазона и автоматизированного измерения комплексных коэффициентов передачи и отражения ( $|S_{11}(22)|$  и  $|S_{21}(12)|$ ) волноводных устройств с цифровым отсчетом измеряемых величин и воспроизведением их частотных характеристик в декартовой системе координат на экране анализатора.

Рабочий диапазон частот анализатора от 78,33 до 118,1 ГГц. Пределы допускаемой относительной погрешности установки частоты не более  $\pm 0,2\%$  от установленной частоты. Диапазон измерения модулей коэффициентов отражения от 0 до минус 26 дБ. Диапазон индикации КСВН от 1,1 до 5. Пределы допускаемой погрешности при измерении модуля коэффициента отражения не более  $|S_{11}(22)| \pm (0,50 + 0,07|S_{11}(22)|)$  дБ. Диапазон измерения модуля коэффициента передачи от 0 до минус 50 дБ. Пределы допускаемой погрешности при измерении модуля коэффициента передачи  $|S_{21}(12)|$  не более  $\pm (0,30 + 0,05|S_{21}(12)|)$  дБ. Диапазон измерения фазы коэффициента отражения и фазы коэффициента передачи от минус 180 до плюс 180 градусов. Пределы допускаемой погрешности при измерении фазы коэффициента отражения не более  $\pm 8$  градусов. Пределы допускаемой погрешности при измерении фазы коэффициента передачи не более  $\pm 7$  градусов.

При калибровке анализатора определяются следующие метрологические характеристики:

- действительное значение и неопределенность измерения модуля и аргумента коэффициентов отражения (КО);
- действительное значение и неопределенность измерения модуля и аргумента коэффициентов передачи (КП);
- действительное значение и неопределенность установки и отсчета частоты, на которых определяются КО и КП.

Для калибровки ВАЦ выбраны следующие эталонные средства: частотомер электронно-счетный РЧЗ-72; набор мер КСВН 1,4 и 2,0; аттенюатор поляризационный АП-20; комплект мер фазового сдвига КМФС-3.

Для оценки неопределенностей измерений калибруемых параметров были использованы следующие модели измерения.

Модель измерения при оценке неопределенности установки и отсчета частоты сигнала на выходе генератора анализатора

$$\Delta_f = f_r - f_3 - \Delta_3 + \Delta_d, \text{ Гц}, \quad (1)$$

- где  $f_r$  – показание калибруемого анализатора, Гц;  
 $f_3$  – показание эталонного частотомера, Гц;  
 $\Delta_3$  – поправка на неточность эталонного частотомера, Гц;  
 $\Delta_d$  – поправка на дискретность установки частоты калибруемого анализатора, Гц.

- Модель измерения отклонения результатов измерений КСВН

$$\Delta_{КСВН} = K_{СТУ_n} - K_{СТУ_{эт}} + \Delta_{кв} + \Delta_{рас}, \quad (2)$$

- где  $\Delta_{КСВН}$  – оцениваемое отклонение измерения КСВН;  
 $K_{СТУ_n}$  – показание калибруемого анализатора;  
 $K_{СТУ_{эт}}$  – значение КСВН эталонной нагрузки;  
 $\Delta_{кв}$  – поправка из-за конечного разрешения калибруемого анализатора;  
 $\Delta_{рас}$  – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте.

- Модель измерения отклонения результатов измерений ослабления

$$\Delta_A = A_{и} - A_{эт} + \Delta_{кв} + \Delta_{рас}, \text{ дБ}, \quad (3)$$

где  $\Delta_A$  – оцениваемое отклонение измерения ослабления, дБ;  
 $A_{и}$  – показание калибруемого анализатора, дБ;  
 $A_{эт}$  – значение ослабления эталонного аттенюатора, дБ;  
 $\Delta_{кв}$  – поправка из-за конечного разрешения калибруемого анализатора, дБ;  
 $\Delta_{рас}$  – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте, дБ.

– Модель измерения отклонения результатов измерений фазы коэффициентов передачи

$$\Delta_{\varphi_{кп}} = \varphi_{кпи} - \varphi_{кпэт} + \Delta_{кв} + \Delta_{рас}, \text{ град.}, \quad (4)$$

где  $\Delta_{\varphi_{кп}}$  – оцениваемое отклонение измерения фазы КП, град.;  
 $\varphi_{кпи}$  – показание калибруемого анализатора, град.;  
 $\varphi_{кпэт}$  – значение фазы аттенюатора, град.;  
 $\Delta_{кв}$  – поправка из-за конечного разрешения калибруемого анализатора, град.;  
 $\Delta_{рас}$  – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте, град.

– Модель измерения отклонения результатов измерений фазы коэффициентов отражения

$$\Delta_{\varphi_{ко}} = \varphi_{кои} - \varphi_{коэт} + \Delta_{кв} + \Delta_{рас}, \text{ град.}, \quad (5)$$

где  $\Delta_{\varphi_{ко}}$  – оцениваемая погрешность измерения фазы КО, град.;  
 $\varphi_{кои}$  – показание калибруемого анализатора, град.;  
 $\varphi_{коэт}$  – значение фазы эталонной нагрузки, град.;  
 $\Delta_{кв}$  – поправка из-за конечного разрешения калибруемого анализатора, град.;  
 $\Delta_{рас}$  – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте, град.

Полный результат измерения состоит из оценки измеряемой величины  $y$ , и соответствующей ей расширенной неопределенности  $U$  и представляется в виде:  $y \pm U$  (в единицах измерения), где число, следующее за знаком  $\pm$ , является численным значением расширенной неопределенности.

Рассмотренная методика определения МХ может быть использована при разработке методики калибровки ВАЦ предназначенных для работы в других участках микроволнового диапазона, а представленные математические модели для оценки неопределенности измерения калибруемых параметров.

Список использованных источников:

1. Белошицкий, А. П. Измерения в оптическом и микроволновом диапазонах длин волн. В 2 ч. Ч.1. Учебно-методическое пособие. / А. П. Белошицкий, А. В. Гусинский, А. М. Кострикин. – Минск : БГУИР, 2016.
2. Гусинский, А. В. Векторные анализаторы цепей миллиметровых волн: монография В 3 ч. Ч. 3 (кн. 1) : Принципы построения и анализ схем векторных анализаторов цепей / А. В. Гусинский, Г. А. Шаров, А. М. Кострикин. – Минск : БГУИР, 2008.