

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКАЛЯРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ЦЕПЕЙ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

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

Кузюков А.Н., Теслин П.А.

Белошицкий А.П. – к.т.н., доцент

К числу наиболее эффективных измерительных средств, предназначенных для анализа параметров СВЧ и КВЧ устройств (цепей), относятся скалярные анализаторы цепей [1,2]. Современные САЦ являются высокопроизводительными информационно-измерительными системами, позволяющие провести необходимые измерения параметров устройств с гарантированной точностью в широких диапазонах с представлением и хранением измеренной информации о параметрах и характеристиках испытуемых устройств.

Поддержание высоких метрологических характеристик скалярных анализаторов цепей КВЧ диапазона невозможно без их метрологического обеспечения, а также выполнения таких видов метрологических работ, как метрологическая аттестация, периодическая поверка и калибровка.

Для их проведения требуются специально разработанные методики, учитывающие специфику проведения КВЧ измерений, конструктивные и эксплуатационные характеристики анализаторов и требования нормативных документов в этой области.

В докладе рассматривается методика метрологической аттестации скалярного анализатора цепей P2-MVM-53. Анализатор предназначен для автоматизированного исследования волноводных КВЧ устройств, работающих в частотном диапазоне от 37,50 до 53,57 ГГц и измерения их параметров – модулей коэффициентов передачи  $|S_{21}|$  и отражения  $|S_{11}|$ , с цифровым отсчетом измеряемых величин и воспроизведением их частотных характеристик в декартовой системе координат на экране монитора. Объектами измерения (ОИ) могут быть двухполюсники (ДП) – устройства оконечного типа и четырехполюсники (ЧП) – устройства проходного типа. Упрощенная структурная схема анализатора представлена на рисунке 1.

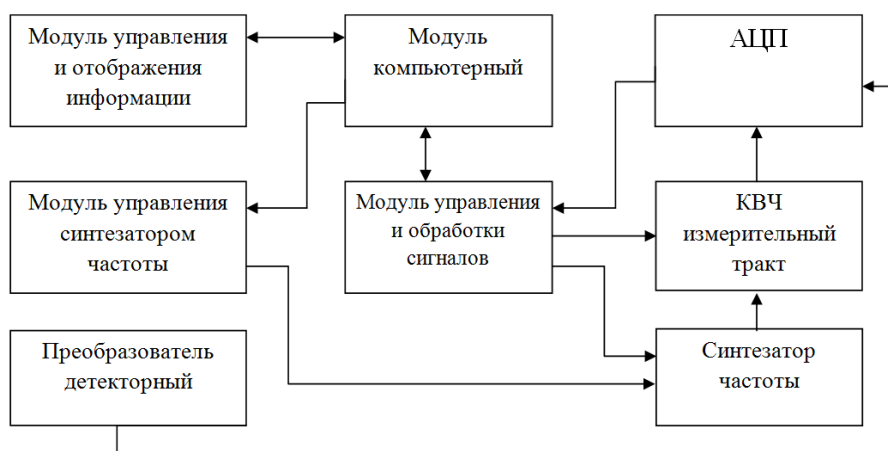


Рисунок 1 – Структурная схема скалярного анализатора цепей

Скалярный анализатор цепей имеет следующие метрологические и технические характеристики: рабочий диапазон частот: 37,50 – 53,57 ГГц; пределы допускаемой относительной погрешности установки и отсчета частоты  $\pm 5 \cdot 10^{-5} \%$  от  $f_{max}$ ; нестабильность частоты выходного сигнала генератора за 15 минут не более  $1 \cdot 10^{-6}$  от  $f_{max}$ ; диапазон измерения модулей коэффициентов отражения от 0 до минус 26 дБ; диапазон измерения КСВН от 1,1 до 5; пределы допускаемой основной погрешности измерения модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  не более  $\pm(0,3 + 0,06 |S_{11}|)$  дБ; диапазон измерения модуля коэффициента передачи от 0 до минус 40 дБ; пределы допускаемой основной погрешности измерения модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$  не более  $\pm(0,2 + 0,04 |S_{21}|)$  дБ.

Для проведения метрологической аттестации были выбраны следующие эталонные средства: частотомер электронно-счетный РЧ3-72, аттенуатор поляризационный волноводный Д3-37.

Определение диапазона рабочих частот, погрешности установки и нестабильности частоты выходного сигнала анализатора производится на частотах: 37,50; 41,00; 45,50; 50,00; 53,57 ГГц.

Определение диапазона измерения и основной погрешности измерения модуля коэффициента отражения  $|S_{11}|$  производится для значений: 0,0 дБ ( $K_{CTU} > 100$ ); минус 9,55 дБ ( $K_{CTU} = 2,0$ ); минус 15,56 дБ ( $K_{CTU} = 1,4$ );

Определение диапазона измерения и основной погрешности измерения модуля коэффициента передачи  $|S_{21}|$  производится для значений: 0,0 дБ; минус 10,0 дБ; минус 20,0 дБ; минус 30,0 дБ; минус 40,0 дБ

Обработка результатов измерений проводится в следующей последовательности.

При определении относительной погрешности установки и отсчета частоты анализатора вычисляют:

- оценку среднеквадратического отклонения относительной случайной составляющей погрешности измерения частоты в  $j$ -й точке частотного диапазона и среднее значение измеренной частоты:

$$\bar{f}_j = \frac{\sum_{i=1}^{10} f_{ij}}{10}; \quad \tilde{\sigma}(\delta_{fj}) = \frac{1}{\bar{f}_j} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (f_{ij} - \bar{f}_j)^2}{9}} \cdot 100$$

- оценку относительной систематической составляющей погрешности установки и отсчета частоты в  $j$ -й точке частотного диапазона:

$$\tilde{\delta}_{sfj} = \frac{\sum_{i=1}^{10} (f_j - f_{ij})}{10 \cdot \bar{f}_j} \cdot 100\%$$

При определении относительного значения нестабильности частоты в  $j$ -й точке вычисляют:

- нестабильность частоты за 15 минут:

$$\Delta_{dfj} = f_{\max j} - f_{\min j}$$

- относительное значение нестабильности частоты:

$$\tilde{\delta}_{dfj} = \frac{\Delta_{dfj}}{f_j}$$

При определении погрешности измерения  $|S_{11}|$  вычисляют:

- оценку среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения модуля коэффициента отражения для  $j$ -й точки частотного диапазона:

$$|\bar{S}_{11}|_j = \frac{\sum_{i=1}^{10} |\bar{S}_{11}|_{ij}}{10}, \quad \tilde{\sigma}(|S_{11}|_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (|S_{11}|_{ij} - |\bar{S}_{11}|_j)^2}{9}}$$

- оценку систематической составляющей погрешности измерения модуля коэффициента отражения:

$$\tilde{\Delta}_{11j} = |\bar{S}_{11}|_j - |S_{11}|_{эj}$$

При определении погрешности измерения  $|S_{21}|$  вычисляют:

- оценку среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности измерения модуля коэффициента передачи:

$$|\bar{S}_{21}|_j = \frac{\sum_{i=1}^{10} |\bar{S}_{21}|_{ij}}{10}, \quad \tilde{\sigma}(|S_{21}|_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (|S_{21}|_{ij} - |\bar{S}_{21}|_j)^2}{9}}$$

- оценку систематической составляющей погрешности измерения модуля коэффициента передачи определяют:

$$\tilde{\Delta}_{21j} = |\bar{S}_{21}|_j - |S_{21}|_{эj}$$

Рассмотренная методика метрологической аттестации может быть использована при метрологической аттестации САЦ различных диапазонов частот.

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.