

УДК 621.317

М.А. Мирошник<sup>1</sup>, Р.И. Цехмистро<sup>1</sup>, О.Б. Зайченко<sup>2</sup><sup>1</sup> Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков<sup>2</sup> Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

## КАЛИБРАТОР ДЛЯ МНОГОЗОНДОВОГО МИКРОВОЛНОВОГО МУЛЬТИМЕТРА

Данная статья посвящена разработке калибратора для многозондового микроволнового мультиметра, предназначенного для его метрологического обеспечения по комплексному коэффициенту отражения нагрузки при больших уровнях мощности. Актуальность такой проблемы вызвана тем, что традиционные методы калибровки при больших уровнях мощности непригодны и имитация сигнала датчика является единственным способом калибровки. Учитывая особенности принципа действия термодатчиков, в основе имитатора лежит генератор тока.

**Ключевые слова:** калибратор для многозондового микроволнового мультиметра, термодатчик, имитатор сигнала, генератор тока, метрологическое обеспечение, комплексный коэффициент отражения нагрузки, высокий уровень сигнала генератора.

### Введение

Измерение как мощности СВЧ, так и параметров СВЧ трактов широко используется при определении технических характеристик современного радиоэлектронного оборудования. В частности эти измерения проводятся при разработке, изготовлении и эксплуатации оборудования в таких важных областях науки и техники как радиолокация, аэрокосмические исследования, средства телекоммуникаций [1].

В настоящий момент наблюдается противоречие между уровнем развития электроники СВЧ и уровнем точности измерительной техники СВЧ. Поэтому большое внимание уделяется повышению точности измерений на СВЧ и усовершенствованию метрологического обеспечения. Многозондовый микроволновый мультиметр предназначен для измерения параметров сигналов (мощности) и трактов НВЧ (модуля и фазы комплексного коэффициента отражения нагрузки), принцип его действия основан на восстановлении картины стоячей волны в тракте. Мультиметр состоит из СВЧ блока и блока обработки. СВЧ блок представляет собой совокупность датчиков, расположенных таким образом, чтобы обеспечить широкий частотный диапазон измерений и устойчивость алгоритма обработки сигналов датчиков. Датчики, которые используются в мультиметре, являются термодатчиками. Каждому датчику соответствует свой канал нормализации и обработки. Причем количество каналов в зависимости от назначения мультиметра варьируется от трех для фиксированной рабочей частоты до семи для диапазона частот две октавы [2].

Многозондовый мультиметр предназначен для одновременного измерения падающей и отраженной мощности и комплексного коэффициента отражения, соответственно метрологическое обеспечение при измерении мощности имеет много общего с метрологическим обеспечением ваттметров СВЧ [1,

3, 4], а метрологическое обеспечение по комплексному коэффициенту отражения подобно обеспечению анализаторов цепей СВЧ [3]. Определенные сложности возникают при калибровке мультиметра по комплексному коэффициенту отражения нагрузки при больших уровнях мощности из-за снижения электрической прочности тракта и опасности возникновения пробоя, ведь один из режимов калибровки по стандартной методике предусматривает реализацию короткого замыкания линии.

Для проверки работоспособности и метрологических характеристик многозондового микроволнового мультиметра, в особенности при больших уровнях мощности, предлагается калибратор, действие которого основано на замещении сигнала датчика (термодатчика) сигналом имитатора. Причем количество каналов имитатора, из которых одновременно выдается сигнал, равняется количеству каналов соответствующего мультиметра.

**Целью** статьи разработка средства автоматической калибровки многозондового микроволнового мультиметра.

### Основная часть

Известный имитатор сигнала термодатчика [5], который содержит в своем составе микропроцессор и цифро-аналоговый преобразователь, на выходе которого получают нужные значения напряжений. Среди недостатков такой реализации имитатора можно отметить сложность, увеличение погрешности с течением времени за счет дрейфа параметров элементов, небольшое быстродействие устройства. Рассмотрим возможность аналоговой или комбинированной (аналогово-цифровой) реализации имитатора как альтернативу чисто цифровой.

Недостатком имитатора сигнала термодатчика [6], который содержит резистивный делитель с выход-

ными выводами, генератор тока относительно общей шины, является отсутствие гибкости структуры и невозможность реализации одновременной многоканальной выдачи нужных значений напряжений, как это необходимо для многозондового микроволнового мультиметра, структурная схема которого именно многоканальная

Калибратор для многозондового микроволнового мультиметра [7] содержит три канала, каждый из которых содержит генератор тока, галетный переключатель и резистивный делитель. Галетный переключатель последовательно коммутирует резисторы в резистивном делителе калибратора так, чтобы снятое с резистивного делителя напряжение было равно напряжению на датчике при измерении при определенных модуле и фазе комплексного коэффициента отражения нагрузки тракта СВЧ по значениям калибровочной таблицы.

Заранее рассчитана калибровочная таблица, содержащая значения сигналов датчиков, полученные на основе математической модели стоячей волны при различных степенях рассогласования тракта СВЧ. Калибратор будет воспроизводить сигналы трех датчиков при значениях модуля ККО 0,05, 0, 1, 0,2, 0,3, 0,5, 0,8, а также значениях фазы ККО от 0° до 360° с шагом 10°.

Поскольку значение тока генератора тока 1 не зависит от значения нагрузки, по закону Ому напряжение, снимаемое с резисторов резистивного делителя 3, будет пропорционально произведению постоянного тока и сопротивления резистора и равно табличному значению.

Техническим результатом является создание нового прибора метрологического назначения, а также уменьшение затрат на калибровку, поскольку калибратор дешевле чем СВЧ тракт с генератором и нагрузкой, а при больших уровнях мощности калибратор является единственным средством для проведения автоматизированной калибровки.

Реализация этой идеи заключается в том, что в калибратор для многозондового микроволнового мультиметра, который содержит несколько каналов (соответствует количеству датчиков в данном мультиметре), которые состоят из источника тока 1 и резистивного делителя 3, введен галетный переключатель 2, подключенный между генераторами тока 1 и входами резистивных делителей 3, галетный переключатель 2 последовательно коммутирует резистивные делители в положения, которые отвечают значениям напряжений на датчиках при определенных значениях комплексного коэффициента отражения нагрузка, с выхода резистивных делителей 3 снимается искомое напряжение.

На рис. 1 изображена структурная схема калибратора для многозондового микроволнового мультиметра.

На рис. 2 изображены положения галетного переключателя при имитации сигналов датчиков при модуле комплексного коэффициента отражения нагрузки  $\Gamma=0,1$  и  $\Gamma=0,5$ .

В табл. 1 приведены расчетные значения сигналов датчиков при разных степенях рассогласования нагрузки СВЧ тракта.

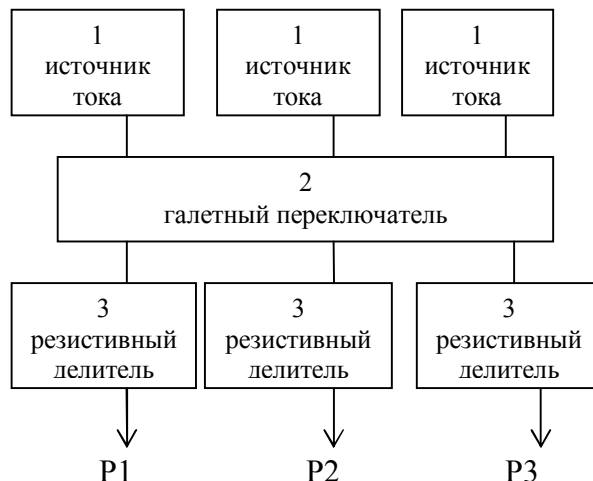


Рис. 1 Структурная схема калибратора для многозондового микроволнового мультиметра

Таблица 1  
Расчетные значения сигналов датчиков

| фаза ККО | модуль ККО | значение ЕДС на первом датчике | значение ЕДС на втором датчике | значение ЕРС на третьем датчике |
|----------|------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 0        | 0,05       |                                |                                |                                 |
|          | 0,1        |                                |                                |                                 |
|          | ...        | ...                            | ...                            | ...                             |
| 360      | 0,8        |                                |                                |                                 |

Калибратор для многозондового микроволнового мультиметра работает следующим образом.

Калибратор будет воспроизводить сигналы датчиков при значениях модуля ККО 0,05, 0, 1, 0,2, 0,3, 0,5, 0,8, а также значениях фазы ККО от 0° до 360° с шагом 10°. Заранее рассчитана таблица, которая содержит значение сигналов трех датчиков, за начало отсчета принят второй датчик, фазовое расстояние между датчиками выбрано  $\lambda_B/6$ , где  $\lambda_B$  – длина волны в тракте.

Таблица содержит 924 значение сигналов, но некоторые сигналы дублируются, что связано с периодическим характером исследуемой стоячей волны, тому калибратором нужно воспроизвести порядка 160 разных значений. Поскольку значение тока генератора тока 1 не зависит от нагрузки, по закону Ому напряжение, которое снимают с нагрузочного резистора резистивного делителя 3, будет пропорционально произведению постоянного тока и сопротивления резистора.

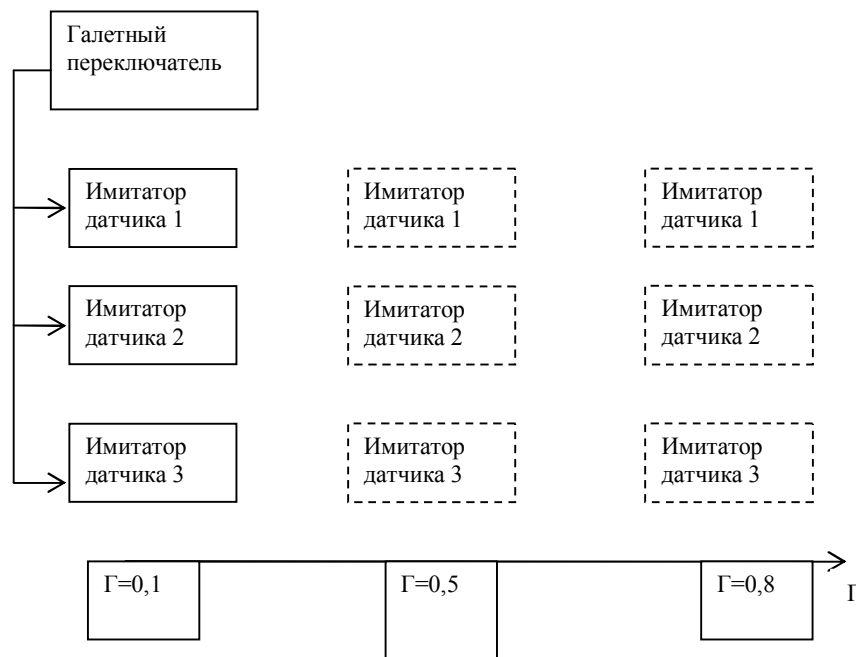


Рис. 2. Положения галетного переключателя при имитации сигналов датчиков при  $\Gamma=0,1$  и  $\Gamma=0,5$

Галетный переключатель 2 последовательно коммутирует датчики в положения, которые отвечают табличным значениям комплексного коэффициента отражения нагрузки, двигаясь по строкам калибровочной таблицы (имеются в виду три последних столбца этой таблицы).

## Выводы

Техническим результатом является создание нового прибора метрологического назначения, а также уменьшение затрат на калибровку, поскольку калибратор дешевле чем СВЧ тракт с образцовым генератором и нагрузкой, а при больших уровнях мощности калибратор является единственным средством для проведения автоматизированного калибровки.

## КАЛИБРАТОР ДЛЯ БАГАТОЗОНДОВОГО МИКРОХВИЛЬОВОГО МУЛЬТИМЕТРА

М.А. Мирошник, Р.І. Цехмистро, О.Б. Зайченко

Дана стаття присвячена розробці калібратора для багатозондового мікрохвильового мультиметра, призначеного для його метрологічного забезпечення з комплексного коефіцієнта відображення навантаження при великих рівнях потужності. Актуальність такої проблеми викликана тим, що традиційні методи калібрування при великих рівнях потужності непридатні і імітація сигналу датчика є єдиним способом калібрування. Враховуючи особливості принципу дії термопарних датчиків, в основі імітатора лежить генератор струму.

**Ключові слова:** калібратор для багатозондового мікрохвильового мультиметра, термопарний датчик, імітатор сигналу, генератор струму, метрологічне забезпечення, комплексний коефіцієнти відображення навантаження, високий рівень сигналу генератора.

## CALIBRATOR FOR MULTIPROBE MICROWAVE MULTIMETER

M.A. Miroshnik, R.I. Tsekhmistro, O.B. Zaichenko

This article focuses on the development of the calibrator for multiprobe microwave multimeter designed for its metrological support for the complex reflection coefficient of load at high power levels. This problem is caused by the fact that traditional calibration methods at high power levels are unsuitable and calibration by sensor signal imitation is the only way. The simulator is the current generator which was chosen on the ground of the operating principle of thermocouple sensors.

**Keywords:** calibrator for multiprobe microwave multimeter thermocouple sensor signal simulator, current generator, metrological support, complex reflection coefficients of the load, a high level signal generator.

## Список литературы

1. Середній В.П. Результати приймальних випробувань військового вторинного еталона одиниці потужності електромагнітних коливань у хвильоводних трактах у діапазоні частот від 37,5 ГГц до 78,33 ГГц / В.П. Середній, В.І. Огар, Т.М. Голякова, О.М. Дзябенко, А.Б. Гаврилов, В.П. Спренне, Ю.О. Крихтін // Український метрологічний журнал. – 2009. – №4. – С. 50-55.

2. Волков В.М. Многозондовый микроволновый мультиметр большого уровня мощности / В.М. Волков, О.Б. Зайченко, А.В. Огуй // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2001. – № 120. – С. 166-169.

3. Чуйко В.Г. Нормирование характеристик, методы испытаний и поверки микроволновых мультиметров СВЧ // Измерительная техника. – 1996. – №6. – С. 44-46.

4. Руженцев И.В. Уменьшение неопределенности измерения параметров СВЧ-сигналов / И.В. Руженцев, Ю.В. Козлов, М.Н. Копоть // Системи обробки інформації: зб.наук.пр. – X.: ХВУ, 2004. – Вип. 12(40). – С. 89-91.

5. Патент США №4,466,749 Microprocessor controlled thermocouple simulation system, МПК G01K7/14, опубл. 21.08.1984.

6. Пат. РФ № 2324908: Имитатор сигнала термопары Шевчук В.В., МПК G01K7/02/ опубл. 20.05.08, Бюл.№14. – 6 с.

7. Пат. на корисну модель 60852 Калібратор для багатозондового мікрохвильового мультиметра // Зайченко О.Б., G01N17/00, опубл. 25.06.2011. – Бюл.№12. – 3 с.

Поступила в редколлегию 23.05.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Листровой, Государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков.