

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДАТЧИКОВ МНОГОЗОНДОВОГО МИКРОВОЛНОВОГО МУЛЬТИМЕТРА

Волков В. М., Зайченко О. Б.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

г. Харьков, пр. Ленина, 14, 61166, Украина

тел. 8(057)7021494, e-mail: wolf@kture.kharkov.ua

Аннотация – В докладе рассмотрены актуальные проблемы идентификации амплитудно-частотных характеристик датчиков многозондового микроволнового мультиметра.

I. Введение

Принцип работы многозондовых измерительных приборов состоит в обработке с помощью вычислительных средств, в том числе компьютеров сигналов дискретно расположенных вдоль волноводного тракта датчиков мощности проходного типа, например [1], по алгоритмам или формулам, полученным от решения системы уравнений сигналов этих датчиков. Сигналы большинства датчиков пропорциональны мощности или квадрату поля в месте установки каждого датчика. Они определяются уровнем мощности генератора и степенью рассогласования нагрузки и фактически по дискретным отсчетам восстанавливают стоячую волну в волноводе.

При реализации многозондового метода структурно-алгоритмическими способами наилучших результатов по точности можно достичь, если значения коэффициента преобразования одинаковы для всех датчиков в диапазоне рабочих мощностей и частот, включая технологический разброс амплитудно-частотных характеристик с одной стороны, а также погрешности геометрической установки в волноводе, то есть обеспечение одинаковой степени связи датчиков с электромагнитным полем волновода. Если не удастся этого достичь конструктивными способами, тогда разработчики должны определить чувствительность каждого датчика при выполнении процедуры калибровки, а потом учесть полученный разброс коэффициента преобразования алгоритмическим путем.

II. Основная часть

Известно несколько методов определения, то есть идентификации, характеристик датчиков [1]: метод согласованной нагрузки, метод максимума, метод детерминированной нагрузки. Первый из них – метод согласованной нагрузки – не дает необходимой точности идентификации характеристик, – так, при сравнительно хорошем согласовании ($K_{свн}=1,05$) погрешность достигает 10%. Второй – метод максимума – предусматривает смену фазы коэффициента отражения нагрузки с помощью фазовращателя таким образом, чтобы максимум напряженности поля поочередно искусственно попадал на каждый датчик. Тогда погрешность уменьшается приблизительно в 2-4 раза, но для применения метода необходим фазовращатель, способный работать при больших мощностях, что представляет собой сложную и дорогую задачу. Третий метод – метод детерминированной загрузки – для применения требует знания или предварительного измерения модуля и фазы коэффициента отражения нагрузки и соответственно фазовых расстояний до каждого датчика от условной плоскости начала отсчета. Используя расчеты и регулируемый фазовращатель, можно

уменьшить погрешность идентификации характеристик до малых приемлемых значений, но реализовать этот метод на больших мощностях крайне сложно и дорого, а при сверхвысоких мощностях – совсем невозможно.

Суть предлагаемого [2] метода состоит в поиске мест одинаковых значений мощности в волноводе при произвольных значениях частоты, модуля и фазы коэффициента отражения нагрузки и проведении идентификационных измерений установленных в этих местах датчиков, для этого необходимо проанализировать внутреннее распределение электромагнитного поля в волноводе.

При распространении в прямоугольных волноводах волн H_{m0} по их узким стенкам нет периодичности, о чем свидетельствует индекс «ноль» и, аналогично, если распространяется волна H_{0n} , то нет периодичности по широким стенкам. Следовательно, если устанавливать исследуемые датчики в одной плоскости сечения волновода на узкой стенке в первом случае, или на широкой во втором, можно считать, что они находятся под воздействием одного и того же значения мощности не зависимо от степени рассогласования нагрузки.

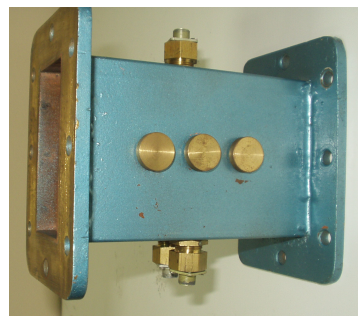


Рис. 1 Размещение датчиков в режиме калибровки.

Fig. 1 Sensor dislocation at calibration

Для расчета погрешности коэффициента преобразования датчика нелинейную нормированную функцию описывающую коэффициент преобразования датчика разложили в ряд Тейлора и оценили зависимость коэффициента преобразования от изменения частоты и степени рассогласования тракта [3].

Найдем выражение для относительных ошибок калибровки коэффициентов передачи датчиков в предположении существования малых систематических ошибок измерения U_i и отсутствия случайных ошибок Δ_i . Представим выражение в виде

$$U_i = a_i U_0^2 (1 + \beta_i + \Delta\beta_i) \quad (1)$$

$$\beta = \Gamma^2 + 2\Gamma\cos(\varphi - 2\alpha\ell), \quad (2)$$

$\Delta\beta_i$ – погрешность β_m

Нелинейная нормированная функция, описывающая коэффициент преобразования датчика

$$\frac{a_j}{a_m} = \frac{U_j}{U_m} \frac{(1 + \beta_m + \Delta\beta_m)}{(1 + \beta_i + \Delta\beta_i)}$$

Так как $|\Delta\beta_i| \ll |\beta_i|$, то, разлагая a_i в ряд Тейлора до линейных членов имеем

$$\frac{\Delta a_i}{a_m} = \frac{\partial a_i}{\partial \beta_i} \Delta\beta_i + \frac{\partial a_i}{\partial \beta_m} \Delta\beta_m \quad (i = 1, N)$$

Тогда

$$\Delta a_i = a_m \frac{U_i}{U_m} \left(\frac{\Delta\beta_m}{1 + \beta_i + \Delta\beta_i} - \frac{1 + \beta_m + \Delta\beta_m}{(1 + \beta_i + \Delta\beta_i)^2} \Delta\beta_i \right)$$

Подставляя в последнее выражение U_i и U_m из (1) получаем

$$\frac{\Delta a_i}{a_i} = \frac{\Delta\beta_m}{1 + \beta_m} - \frac{\Delta\beta_i}{1 + \beta_i} \quad (3)$$

Находя из (2) значение $\Delta\beta_i$

$$\Delta\beta_i = 2\Gamma \sin(\varphi - 2\alpha\ell) \Delta\varphi + 2(\Gamma + \cos(\varphi - 2\alpha\ell)) \Delta\Gamma$$

И используя это выражение, получим общую формулу для относительных коэффициентов передачи датчиков

$$\frac{\Delta a_i}{a_i} = \frac{2\Gamma \sin(\varphi + \theta_1) \Delta\varphi + 2(\Gamma + \cos(\varphi + \theta_1)) \Delta\Gamma}{[1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\varphi + \theta_1)]} + \quad (4)$$

$$\frac{2\Gamma \sin(\varphi + \theta_2) \Delta\varphi + 2(\Gamma + \cos(\varphi + \theta_2)) \Delta\Gamma}{[1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\varphi + \theta_2)]}$$

$x_1 = 2\Gamma \sin(\varphi + \theta_1)$, $y_1 = 2(\Gamma + \cos(\varphi + \theta_1))$, $z_1 = [1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\varphi + \theta_1)]$
 $x_2 = 2\Gamma \sin(\varphi + \theta_2)$, $y_2 = 2(\Gamma + \cos(\varphi + \theta_2))$, $z_2 = [1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\varphi + \theta_2)]$
 Тогда

$$\frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} = \frac{\Delta a_i}{a_i \Gamma} \frac{z_1 z_2}{y_1 z_2 - y_2 z_1} - \frac{\Delta\varphi}{\Gamma} \frac{x_1 z_2 - x_2 z_1}{y_1 z_2 - y_2 z_1}$$

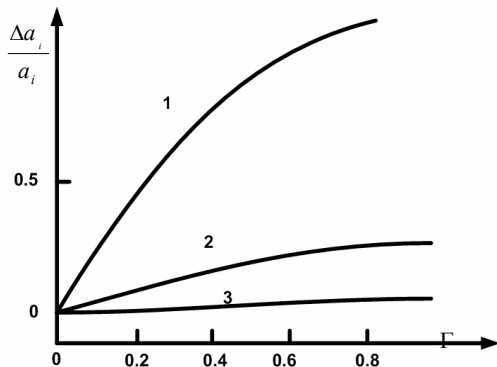


Рис. 2. Зависимость относительной погрешности коэффициента калибровки датчика от модуля коэффициента отражения при разных погрешностях модуля коэффициента отражения: 1 – 0.5, 2 – 0.1, 3 – 0.01.

Fig. 2. Dependence of relative error of sensor calibration coefficient on modulus of reflection coefficient at different errors of reflection coefficient: 1 – 0.5, 2 – 0.1, 3 – 0.01

III. Заключение

Показано, что применение многозондового метода измерений параметров СВЧ сигналов и трактов дает наилучшие результаты при идентичности характеристик датчиков, используемых в мультиметре. С целью выравнивания характеристик используется свойство отсутствия периодичности распределения поля в прямоугольном волноводе вдоль широкой стенки на основном типе волны H_{m0} .

Построена модель коэффициента преобразования датчика мультиметра на основе разложения в ряд Тейлора.

IV. Список литературы

- [1] Егоров А. Б., Захаров И. П. Определение коэффициентов передачи каналов многозондовых средств измерений СВЧ-диапазона // Радиотехника. Республ. межвед. науч.-техн. сборник. – 1988. – С.63-67.
- [2] Заявка на патент Украины Идентификация амплитудно-частотных характеристик датчиков многозондовых микроволновых мультиметров/ Волков В.М., Зайченко О.Б., Заявлено 20.12.2006.
- [3] Кудряшев Ю. Ю., Львов А. А., Моржаков А. А., Ширшин С.М. Исследование погрешности калибровки датчиков многозондовой измерительной линии. – Распространение и дифракция волн, 1990. – С.85 – 89.

IDENTIFICATION OF SENSOR TRANSFORMATION COEFFICIENT OF MULTIPROBE MICROWAVE MULTIMETER

Volkov V. M., Zaichenko O. B.

Kharkov National University of Radioelectronics

14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine

Ph.: 8(057)7021494, e-mail: wolf@kture.kharkov.ua

Abstract – The actual problems of multiprobe microwave multimeter sensor transformation coefficient identification were considered in the article.

I. Introduction

The best results of multiprobe method realization can be obtained, if sensor coefficients of transformation are the same for all sensors. Otherwise it is necessary to define sensitivity of every sensor.

II. Main Part

There are known some methods of identification of sensor characteristics: method of matched termination, method of maximum, method of determined termination. The first of them can not give necessary accuracy of characteristics identification. The second method requires phase shifter that can work at high power level, which is complex and expensive task. The third method demands knowledge or measurement of modulus and phase of complex reflection coefficient of termination and phase distance between sensors.

The essence of proposed method is in the searching of places of the same power readings in the waveguide at arbitrary frequency and modulus and phase of reflection coefficient of termination and carrying out identification measurement for mounted in these places sensors, for what it is necessary to analyze inside distribution of electromagnetic field in the waveguide. If wave H_{m0} propagates in the rectangular waveguide there is no periodicity on the narrow walls of the waveguide, and for wave H_{0n} , there is no periodicity on the wide wall.

So if to mount sensors under consideration in the same waveguide cross-section at the narrow wall in the first case or at the wide wall at the second case they are under the influence of same power and sensor readings are independent of mismatch.

There is proposed model of relative error of sensor transformation coefficient

$$\frac{\Delta\Gamma}{\Gamma} = \frac{\Delta a_i}{a_i \Gamma} \frac{z_1 z_2}{y_1 z_2 - y_2 z_1} - \frac{\Delta\varphi}{\Gamma} \frac{x_1 z_2 - x_2 z_1}{y_1 z_2 - y_2 z_1}$$

where

$$x_1 = 2\Gamma \sin(\varphi + \theta_1), \quad y_1 = 2(\Gamma + \cos(\varphi + \theta_1)), \quad z_1 = [1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\varphi + \theta_1)]$$

$$x_2 = 2\Gamma \sin(\varphi + \theta_2), \quad y_2 = 2(\Gamma + \cos(\varphi + \theta_2)), \quad z_2 = [1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\varphi + \theta_2)]$$

III. Conclusion

There is shown that application of multiprobe method of measurement of VHF signals and tracts parameters gives the best results if sensors, which are used in the multimeter have the same characteristics. To make the characteristics equal, the absence of periodicity in the field distribution on the main mode H_{m0} is used. There is built a model of sensor transformation coefficient on the base of Taylor formula.