

Statement and methods of solution of the problems of structure synthesis do not reach the generalization and specification, which are inherent to mathematical support of analysis procedures, due to the complexity of formalization. The decision-making lies in the selection and coordination of the most effective variant from a great number of alternatives. This is such type of activity that is carried out according to the specific technology using various methods and technical means. This process could be divided into several stages. At the stage of the alternative determination, the morphological synthesis is used as one of the most effective methods for their generation. The morphological matrix is a generalized structure represented as a set of functions performed by the components of the synthesized objects of this class, and by the subsets of ways of their realization. It is recommended to use the technology in the information system that permits to automate the execution of design procedures. The information system should combine the mechanism units and seek the best design that meets the requirements specification. The next stage is the definition of subunits for the combination and calculation of the parameters, required for the new design to meet the requirements specification. The optimal design is chosen similarly and if the packaging is not found, the process will be repeated for the details that make up the subunit

Keywords: structural synthesis, morphological matrix, decision-making information system

Розроблено 26-ГГц векторний аналізатор кіл з застосуванням електродинамічної моделі E-площинного хрестообразного дільника потужності. З використанням чисельних параметрів дільника калібрування аналізатора здійснюється як градування індикаторів потужності з застосуванням одного узгодженого навантаження. При дослідженні рухомих навантажень з КСХ<7 похибка вимірювання коефіцієнта відбиття встановлює 10%

Ключові слова: векторний аналізатор кіл, рухоме навантаження, коефіцієнт відбиття

Разработан 26-ГГц векторный анализатор цепей на основе электродинамической модели E-плоскостного крестообразного делителя мощности. При известных расчетных параметрах крестообразного делителя калибровка прибора сводится к градуировке индикаторов мощности на одну согласованную нагрузку. При исследовании скользящих нагрузок с КСВ<7 погрешность измерения комплексного коэффициента отражения не более 10%

Ключевые слова: векторный анализатор цепей, подвижная нагрузка, коэффициент отражения

УДК 621.396.96

26-ГГЦ ВЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗАТОР ЦЕПЕЙ

В. А. Карлов

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра прикладной и компьютерной
радиофизики
Днепропетровский национальный
университет им. Олеса Гончара
пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск,
Украина, 49010
Контактный тел.: 095-303-77-91
E-mail: cdep@mail.dsu.dp.ua

1. Введение

Комплексный коэффициент отражения является одним из основных параметров антенно-фидерных устройств. В автоматизированных анализаторах цепей, которые реализуют метод калибруемого двенадцати-полюсника [1], параметры первичного преобразователя находятся экспериментально, с использованием набора (не менее четырех) эталонов комплексного коэффициента отражения (КО). В основе разработки конструкции и методик измерений данного класса приборов лежит теория цепей, что ограничивает их реализацию в коротковолновой части миллиметрового диапазона [2].

В статье рассматривается возможность разработки автоматизированных анализаторов комплексного коэффициента отражения на основе теории поля с ис-

пользованием простой конструкции крестообразного делителя мощности, который используется в первичном измерительном преобразователе, как многоплечая отсчетная неоднородность с известными расчетными параметрами [3].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В отличие от автоматизированных анализаторов цепей, в которых используется согласованная конструкция "12-полюсного" измерительного преобразователя [4], разработан измеритель комплексного коэффициента отражения, который собран на основе четырехплечей неоднородности E-плоскостного волноводного крестообразного делителя мощности с ат-

тестованными характеристиками. Рассматриваемый анализатор показал хорошие результаты при измерении параметров вибрирующих неоднородностей, как в закрытом волноводном канале, так и в свободном пространстве [5]. В настоящей статье проведена экспериментальная оценка погрешности измерения комплексного КО при работе прибора в режиме “векторной панорамы” в рабочей полосе частот 8-ми мм диапазона длин волн.

3. Постановка задачи. Методика измерения

На рис. 1 показана структурная схема пятиплечего анализатора комплексного коэффициента отражения.

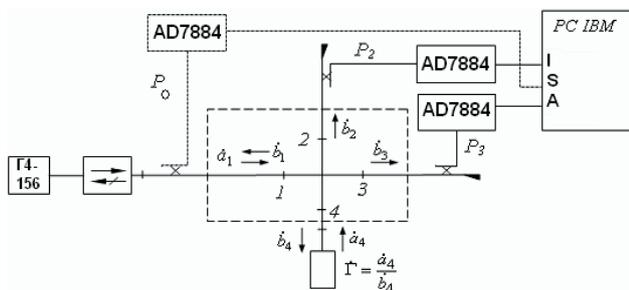


Рис. 1. Структурная схема анализатора комплексного коэффициента отражения

Как видно из рис. 1, Е-плоскостной крестообразный делитель мощности с плечами 1,2,3,4 включен в измерительные каналы двух скалярных рефлектометров. Так как направленные детекторы рефлектометров используются по прямому назначению (для измерения коэффициентов отражения и ослаблений), то предполагается, что ИП содержит единственную неоднородность: область сочленения боковых плеч крестообразного делителя мощности.

Простота конструкции делителя позволяет аттестовать ее по геометрическим размерам и построить адекватную электродинамическую модель для нахождения коэффициентов матрицы рассеяния (КМР) ИП. Используя метод частичных пересекающихся областей, КМР преобразователя находятся, как функции от частоты, размеров поперечного сечения прямоугольных волноводов и числа учитываемых высших типов волн, которые возбуждает неоднородность [6].

Первое свойство Е-креста, которое позволяет использовать его в ИП – плавность коэффициентов отражения и ослаблений в прямом направлении и в боковые плечи. Входная мощность делителя делится, примерно, на четыре равные части.

Второе свойство, которое позволяет однозначно находить комплексный КО, связано со строго последовательным расположением боковых плеч креста по отношению друг к другу, согласно его эквивалентной схеме. Т.е., эквивалентную схему измерительного канала преобразователя можно представить в виде четырехзондовой секции с последовательным расположением четырех зондов-плеч.

При обработке показаний индикаторов мощности через расчетные КМР делителя, сложная и дорогостоящая методика калибровки “калибруемых 12-полос-

ников”, заменяется простой методикой градуировки ИМ на согласованную нагрузку.

С использованием десятиполюсного измерительного преобразователя (ИП) рис. 1, неизвестный комплексный КО $\dot{\Gamma}$ нагрузки находится из решения системы двух квадратных уравнений на плоскости отношения входных волн $\dot{A}_4 = \dot{a}_4 / \dot{a}_1$ с последующим отражением на плоскость $\dot{\Gamma}$ [7]:

$$\left| \dot{A}_4 + \frac{\dot{S}_{11}^0}{\dot{S}_{14}^0} \right|^2 = \left| \frac{\dot{S}_{11}^0}{\dot{S}_{14}^0} \right|^2 \frac{P_0^0 \cdot P_1}{P_1^0 \cdot P_0}, \quad \dot{\Gamma} = \frac{\dot{A}_4}{\dot{S}_{41}^0 + \dot{S}_{44}^0 \cdot \dot{A}_4}, \quad i=2,3, \quad (1)$$

где \dot{S}_{ij}^0 – расчетные значения КМР относительно плоскости подключения исследуемой нагрузки;

P_1^0, P_0^0 – показания ИМ при подключении к измерителю эталонной нагрузки с известным КО $\dot{\Gamma}_0$ (в частности, $\dot{\Gamma}_0 = 0$);

P_1, P_0 – показания ИМ при подключении к измерителю нагрузки с неизвестным КО $\dot{\Gamma}$;

$\dot{A}_4 = \dot{a}_4 / \dot{a}_1$ – комплексное отношение единственных входных волн делителя мощности.

Оценка погрешности измерения комплексного КО проводилась методом подвижной нагрузки.

Для тестирования комплекса использовались две подвижные нагрузки: №1 с $|\Gamma| \approx 0.57$ и №2 с $|\Gamma| \approx 0.14$. На рис. 2 приведен графический интерфейс для проведения эксперимента.

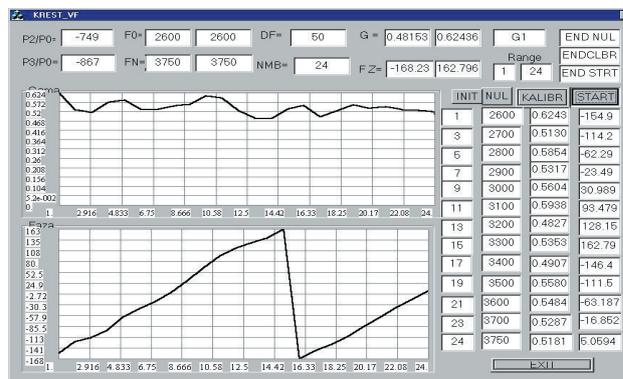


Рис. 2. Графический интерфейс проведения эксперимента

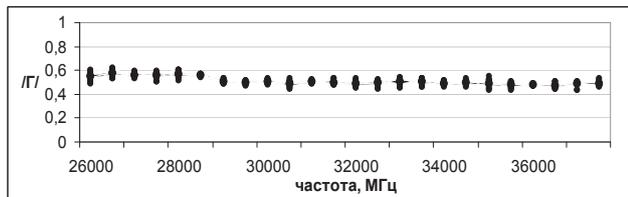
Исходными данными для интерфейса являлись: диапазон частот для сканирования генератора Г4-156 – в данном случае 26 – 37.5 ГГц, и шаг сканирования – 500 МГц (или число частотных выборок – 24).

Для калибровки-градуировки индикаторов мощности P_0, P_2, P_3 использовалась согласованная нагрузка с КСВН < 1.04. После подключения согласованной нагрузки, в заданной полосе частот вызывались циклы “коррекция нуля” (для операционных усилителей) и “калибровка”.

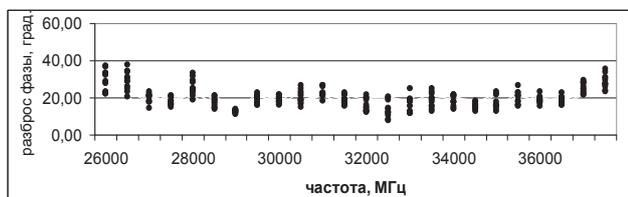
После градуировки индикаторов мощности проведено 12 частотных циклов измерения от 12-ти местоположений подвижных нагрузок. В каждом последующем цикле местоположение нагрузок изменялось на 1 мм с одновременным соответствующим изменением численных значений отсчетных плоскостей коэффициентов матрицы рассеяния крестообразного делителя мощности.

4. Экспериментальные данные и их обработка

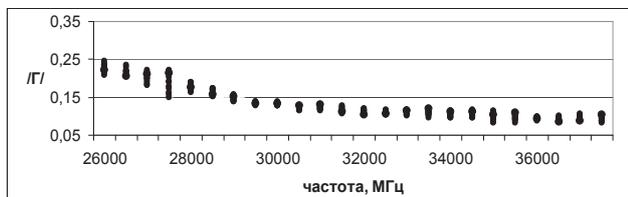
На рис. 3 точками показан разброс экспериментально полученных значений модуля и фазы от 12-ти местоположений подвижных нагрузок. Значения калибровочных коэффициентов в процессе измерений не уточнялись.



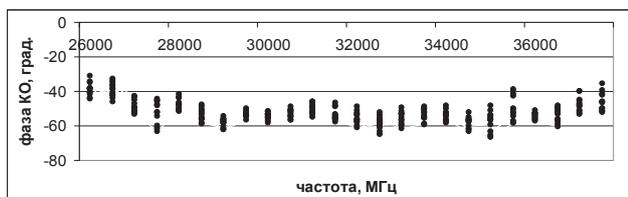
а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Частотные зависимости модуля и сдвига фазы 12-ти местоположений скользящей нагрузки №1 (а, б) и №2 (в, г)

При крайнем положении скользящих нагрузок расчетная отсчетная плоскость измерителя устанавливалась в местоположение отражающих неоднородностей с учетом независимости их фаз от частоты.

На рис. 3 точками показаны отклонения модуля и фазы от среднего значения. Среднее значение для сдвига фазы между соседними местоположениями – расчетная электрическая длина смещения в 1 мм для каждой частоты.

Как следует из рис. 3, погрешность нахождения известного сдвига фазы составляет 10 градусов.

В табл. 1 приведены значения среднего модуля КО ($|\Gamma|$) и соответствующих погрешностей ($d|\Gamma|, \%$),

рассчитанных по 12-ти положениям скользящих нагрузок на каждой частоте F, согласно рис. 3.

Таблица 1

Измеренные параметры подвижных нагрузок

№	F, ГГц	№ 1		№ 2	
		$ \Gamma $	$d \Gamma , \%$	$ \Gamma $	$d \Gamma , \%$
1	26	0,5509	10,20	0,2282	7,94
2	26,5	0,5741	7,52	0,2147	8,27
3	27	0,5598	5,33	0,2018	10,46
4	27,5	0,5542	7,93	0,1886	19,09
5	28	0,5695	7,77	0,1766	7,54
6	28,5	0,5568	2,88	0,1624	6,78
7	29	0,5026	2,83	0,1456	6,52
8	29,5	0,4933	4,23	0,1334	4,58
9	30	0,5017	4,41	0,1313	4,00
10	30,5	0,4889	8,76	0,1229	5,70
11	31	0,5006	7,36	0,1222	7,17
12	31,5	0,4923	5,45	0,1154	9,88
13	32	0,4894	7,39	0,1132	7,78
14	32,5	0,4918	2,46	0,1103	7,80
15	33	0,5053	7,79	0,1089	7,26
16	33,5	0,5016	6,96	0,1069	11,09
17	34	0,4894	5,87	0,1041	8,80
18	34,5	0,4964	6,32	0,1048	11,41
19	35	0,4899	12,41	0,0996	16,32
20	35,5	0,4772	7,56	0,0972	13,84
21	36	0,4784	2,28	0,0941	5,75
22	36,5	0,4710	6,34	0,0903	9,58
23	37	0,4846	6,87	0,0932	11,16
24	37,5	0,4886	7,55	0,0934	10,77

Как следует из метрологического анализа крестообразного анализатора [8], при проведении измерений в широкой полосе частот погрешность в установке частоты генератора должна быть не более 0,1%. Поскольку используемый генератор Г4-156 имеет погрешность в установке частоты 1%, то при проведении данного экспериментами контрольные частоты, указанные в табл. 1, предварительно уточнялись с использованием волноводных волномеров ВСТ-0809.

5. Выводы

Анализ результатов измерений показал, что в полосе частот, где погрешность измерения превышает 10% (например, 26,5 - 28,0 ГГц), используемый генератор Г4-156 имеет большую частотную зависимость

уровня (крутизны) выходной мощности, до 3 дБ. По этой причине, на погрешности измерений сказывалось время прогрева генератора. Как видно из табл. 1, при измерении в полосе частот с предварительной коррекцией частоты генератора, погрешность измерения модуля КО находится на уровне 10%, что, примерно, в два раза меньше, чем при проведении аналогичных измерений без предварительной корректировки частоты генератора.

Полученные результаты показали возможность создания векторных панорамных измерителей комплексного коэффициента отражения на основе E-плоскостного волноводного делителя мощности. При использовании в приборе высокочастотного свип-генератора, с погрешностью в установке частоты не более 0,1%, погрешность измерения комплексного коэффициента отражения для нагрузок с КСВН < 7 составляет 10%.

Литература

1. Латников, С.Ю. Измерение комплексных отношений СВЧ сигналов методом калибруемого многополосника [Текст] С.Ю. Латников // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1984. Вып. 6 (361). С. 55–58.
2. Кабанов, Д.А. Опыт разработки автоматических СВЧ цепей с 12-полюсными рефлектометрами [Текст] / Д.А. Кабанов, С.М. Никулин, В.В. Петров // Измерительная техника. 1985. № 10. С.38-40.
3. Пат. на корисну модель України № 62293. Пристрій для вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття [Текст] / Карлов В. А. опубл. в бюл. №16, 25.08.2011. Заявка у 2011 00276 від 10.01.2011.
4. Engen, G.F. The six-port reflectometer: an alternative network analyzer // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1977. V. MTT-25, № 12. 1075-1080.
5. Borulko V.F., Karlov V.A. Fast parameter measurements for antenna-feeder devices // Proc. of 7th International Conference on Antenna Theory and Techniques (Kyiv 20-23 September 2011). Kyiv, 2011. P. 344-346.
6. V.A. Karlov and V.F. Borulko "Electromagnetic model of E-cross for sixport reflectometer" [Текст] / Proceedings of International Conference on Mathematical Methods in Electromagnetic Theory (MMET). – Kharkiv, Aug. 28-30, 2012. – P.
7. Барташевский, Е.Л. Векторный СВЧ-рефлектометр на основе четырехплечего делителя мощности [Текст] / Е.Л. Барташевский, В.А. Карлов // Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ. - 1989.- Вып. 1(415).-С. 38-44.
8. Карлов, В. А. Метрологический анализ виртуального осциллографа комплексного коэффициента отражения [Текст] / В. А. Карлов, О. О. Дяченко // МНЗК "Современная техника и технологии: исследования и разработки". Сборник докладов (Липецк 21 июля 2011). Липецк. Гравис, 2011. – С. 67 – 71.

Abstract

A 26 GHz vector network analyzer was developed on the basis of electrodynamic model of an E-flat cross-shaped attenuator. A construction of five-shoulders analyzer consists of three detectors, directed from the scalar reflectometer, which are included in the measurement channels of the E-flat waveguide cross-shaped attenuator. The construction of the device was developed with the requirement of only one indicating heterogeneity of the attenuator in the device transmitter. According to the equivalent circuit of the E-cross, its adjacent shoulders are included in the measurement channel of the analyzer sequentially to each other. This feature allows the definite calculation of the complex reflection coefficient and the representation of the equivalent circuit in the form of a four-probe section with the successive probes-shoulders. A mathematical model of processing of readings of the power indicators, which is embedded in a computer memory, allows the calculation of the complex reflection coefficient of the solution of a system of two quadratic equations. The simplicity of the construction of the attenuator-converter allows its production with the same tolerances as for the sizes of the rectangular waveguides and the building of the adequate electrodynamic model. Under certain calculating parameters of the cross-shaped analyzer, the calibration of the device is reduced to the calibration of the power indicators on one agreed load. The method of moving load was used to assess the measurement error in a wide band of frequencies

Keywords: *vector network analyzer, moving load, reflection coefficient*