

УДК 621.317.74

Ю.Б. Гимпилевич, профессор, д-р техн. наук**В.В. Саламатин, доцент, канд. техн. наук****И.В. Лашченко, доцент, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**Ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: irina-lashchenko@ya.ru***ИЗМЕРИТЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ КАЛИБРУЕМОГО ДВУХДЕТЕКТОРНОГО ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Предложен метод построения двухдетекторного волноводно-щелевого преобразователя для измерителя комплексного коэффициента отражения (ККО). Приводится методика определения модуля и аргумента ККО выхода генератора с использованием калибровок по подвижному короткозамыкателю, учет значений этих величин позволяет исключить погрешность измерения, обусловленную влиянием переотражения от генератора.

Ключевые слова: волноводно-щелевой преобразователь, измеритель комплексного коэффициента отражения.

Калибруемые волноводно-щелевые преобразователи (ВЩП) интерференционного и интерференционно-рефлектометрического типов нашли широкое применение при построении высокоточных и широкополосных измерителей параметров волноводных устройств [1...3]. Важным структурным элементом преобразователя является датчик мощности (детекторная головка), осуществляющий преобразование СВЧ колебания в тракте в низкочастотный сигнал, амплитуда которого содержит информацию о параметрах исследуемой нагрузки. Существующие ВЩП содержат три или четыре датчика мощности. Фазовые сдвиги между ответвляемыми волнами для уменьшения частотной погрешности должны быть слабо зависимыми от частоты. Для двухдетекторного ВЩП с ортогональным расположением щелей связи фазовый сдвиг не зависит от частоты. Кроме того, конструктивные вопросы размещения детекторных головок на ограниченном отрезке волновода малого сечения решаются проще, если головок только две.

Цель статьи — разработка метода построения измерителя ККО, выполненного на основе конструктивно простого широкополосного калибруемого ВЩП с двумя детекторными головками.

Двухдетекторный преобразователь выполнен в виде отрезка волновода прямоугольного сечения с прорезанными в его широкой стенке двумя щелями, связывающими волноводы детекторных головок с основным трактом. Расположение щелей связи показано на рисунке 1. Одна из щелей — поперечная, другая — продольная. Центры щелей связи расположены в одной поперечной плоскости. Фазовый сдвиг между ответвляемыми волнами равен 90° на любой частоте диапазона волновода.

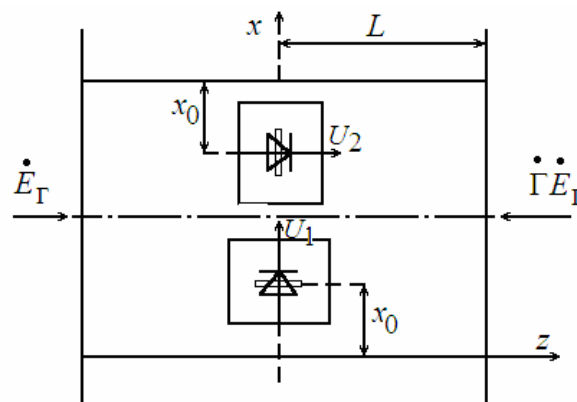


Рисунок 1 – Расположение щелей связи ВЩП

Топологической моделью микроволновой части измерителя ККО, построенного на базе двухдетекторного ВЩП, является приведенный ориентированный граф, изображенный на рисунке 2. На рисунке 2 приняты следующие обозначения: $\dot{E}_\Gamma$ — нормированная комплексная амплитуда волны генератора; $\dot{E}_1$, $\dot{E}_2$ — нормированные комплексные амплитуды волн, ответвляемых щелями связи; $\dot{\Gamma}$,

$\dot{\Gamma}_r$ — ККО исследуемого устройства и выхода генератора; $\dot{S}_1$, $\dot{S}_2$ — коэффициенты передачи щелей связи.

При составлении приведенного графа учтено, что отражения от щелей малы, кроме того, из-за сдвига фаз ответвляемых волн, равного 90° , происходит взаимная компенсация отраженных от щелей сигналов. Переходное затухание щелей достигает 30 дБ и более, поэтому влиянием головок друг на друга можно пренебречь, а также не учитывать реакцию падающей и отраженной волн в основном тракте преобразователя на отражения от детекторных головок.

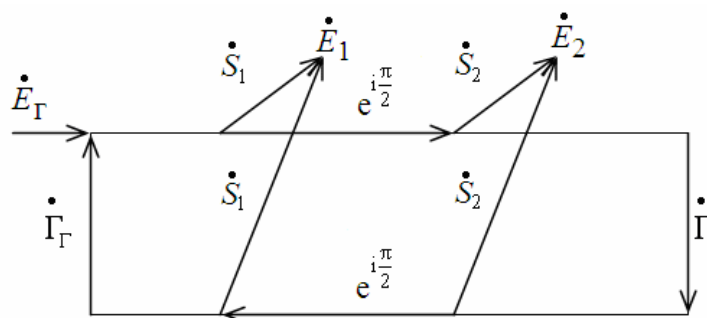


Рисунок 2 — Приведенный граф ВЩП

Применяя формулу Мезона, найдем решение ориентированного графа относительно амплитуд волн $\dot{E}_1$ и $\dot{E}_2$:

$$\dot{E}_1 = \dot{S}_1 \dot{E}_r \frac{1 + \dot{\Gamma}}{1 - \dot{\Gamma}_r \dot{\Gamma} e^{i\pi}}; \quad (1)$$

$$\dot{E}_2 = \dot{S}_2 \dot{E}_r e^{i\pi/2} \frac{1 - \dot{\Gamma}}{1 - \dot{\Gamma}_r \dot{\Gamma} e^{i\pi}}. \quad (2)$$

После квадратичного детектирования сигналов (1), (2) имеем:

$$U_1 = k_1 E_r^2 \frac{1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\varphi + 4\pi L/\lambda_B)}{1 + \Gamma_r^2 \Gamma^2 - 2\Gamma_r \Gamma \cos(\varphi + 4\pi L/\lambda_B + \varphi_r)}; \quad (3)$$

$$U_2 = k_2 E_r^2 \frac{1 + \Gamma^2 - 2\Gamma \cos(\varphi + 4\pi L/\lambda_B)}{1 + \Gamma_r^2 \Gamma^2 - 2\Gamma_r \Gamma \cos(\varphi + 4\pi L/\lambda_B + \varphi_r)}, \quad (4)$$

где U_1 , U_2 — напряжения, снимаемые с диодов детекторных головок; Γ_r , φ_r — модуль и аргумент ККО выхода генератора; k_1 , k_2 — коэффициенты передачи детекторных головок; E_r^2 — квадрат модуля комплексной нормированной амплитуды волны генератора. Аргумент ККО выхода генератора приведен к плоскости расположения центров щелей связи.

Таким образом, сигналы с диодов несут информацию о модуле Γ и аргументе φ ККО исследуемой нагрузки.

Множители $k_1 E_r^2$ и $k_2 E_r^2$ можно исключить, если провести калибровку измерителя по согласованной нагрузке ($\Gamma = 0$). При этом получим два калибровочных уравнения:

$$U_{1к} = k_1 E_r^2; \quad U_{2к} = k_2 E_r^2. \quad (5)$$

В результате совместного решения измерительных (3), (4) и калибровочных (5) уравнений получим:

$$\frac{U_1}{U_{1к}} = \frac{1 + \Gamma^2 + 2\Gamma \cos(\varphi + 4\pi L/\lambda_B)}{1 + \Gamma_r^2 \Gamma^2 - 2\Gamma_r \Gamma \cos(\varphi + 4\pi L/\lambda_B + \varphi_r)}; \quad (6)$$

$$\frac{U_2}{U_{2к}} = \frac{1 + \Gamma^2 - 2\Gamma \cos(\varphi + 4\pi L/\lambda_B)}{1 + \Gamma_r^2 \Gamma^2 - 2\Gamma_r \Gamma \cos(\varphi + 4\pi L/\lambda_B + \varphi_r)}. \quad (7)$$

В этих уравнениях содержатся четыре неизвестные величины: измеряемые параметры Γ , φ и две константы микроволновой части — Γ_r , φ_r .

Отраженная волна, возникающая в рассогласованном тракте, вторично отражается от выхода генератора, оказывая существенное дестабилизирующее воздействие на работу радиоэлектронных

средств СВЧ, в том числе на работу ВЦП измерителя параметров волноводных устройств. Чтобы нейтрализовать это воздействие или учесть его, необходимо знать величину комплексного коэффициента отражения выхода генератора. Для его определения используем калибровки по короткозамкателью с параметрами $\Gamma = 1$, $\varphi = 180^\circ$. При первой калибровке подсоединяют короткозамыкающую пластину к

выходному фланцу ВЦП. Величина отношения $\left(\frac{U_2}{U_{2к}}\right)_1$ становится равной

$$\left(\frac{U_2}{U_{2к}}\right)_1 = \frac{4\cos^2(2\pi L/\lambda_B)}{1 + \Gamma_r^2 + 2\Gamma_r \cos(4\pi L/\lambda_B + \varphi_r)}. \quad (8)$$

Сместив пластину подвижного короткозамыкателя на электрическое расстояние, соответствующее 180° , при второй калибровке получаем

$$\left(\frac{U_1}{U_{1к}}\right)_2 = \frac{4\cos^2(2\pi L/\lambda_B)}{1 + \Gamma_r^2 - 2\Gamma_r \cos(4\pi L/\lambda_B + \varphi_r)}. \quad (9)$$

Совместное решение уравнений (8) и (9) позволяет найти значения модуля Γ_r и аргумента φ_r . Перепишем уравнения в несколько иной форме

$$1 + \Gamma_r^2 + 2\Gamma_r \cos(4\pi L/\lambda_B + \varphi_r) = \frac{4\cos^2(2\pi L/\lambda_B)}{(U_2/U_{2к})_1}, \quad (10)$$

$$1 + \Gamma_r^2 - 2\Gamma_r \cos(4\pi L/\lambda_B + \varphi_r) = \frac{4\cos^2(2\pi L/\lambda_B)}{(U_1/U_{1к})_2}. \quad (11)$$

Просуммировав эти уравнения, получим

$$1 + \Gamma_r^2 = \frac{2\cos^2(2\pi L/\lambda_B)}{(U_2/U_{2к})_1} + \frac{2\cos^2(2\pi L/\lambda_B)}{(U_1/U_{1к})_2},$$

откуда находим модуль Γ_r

$$\Gamma_r = \sqrt{\left(\frac{2\cos^2(2\pi L/\lambda_B)}{(U_2/U_{2к})_1} + \frac{2\cos^2(2\pi L/\lambda_B)}{(U_1/U_{1к})_2}\right) - 1}. \quad (12)$$

Вычитая из уравнения (10) уравнение (11) и преобразовав полученный результат, определим значение аргумента φ_r

$$\varphi_r = \frac{\arccos\left(\frac{\cos^2(2\pi L/\lambda_B)/(U_1/U_{1к})_1 - \cos^2(2\pi L/\lambda_B)/(U_1/U_{1к})_2}{\Gamma_r}\right) - \frac{4\pi L}{\lambda_B}}{\Gamma_r}. \quad (13)$$

При вычислении φ_r в уравнение (13) следует подставить значение Γ_r , найденное из уравнения (12). Следует отметить, что при определении аргумента ККО выхода генератора нужно знать не только численное значение φ_r , но и его знак. Данная задача решается путем незначительного изменения частоты измерительного генератора относительно исходной f [4]:

если $|\varphi_r(f + \Delta f)| > |\varphi_r(f)|$, то $\varphi_r(f) < 0$;

если $|\varphi_r(f + \Delta f)| < |\varphi_r(f)|$, то $\varphi_r(f) > 0$.

Таким образом, решение уравнений (12) и (13) определяет величины модуля и аргумента ККО выхода генератора. Подстановка их в уравнения (6) и (7) дает возможность вычислить значения модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения исследуемого устройства. При этом точное решение системы этих уравнений исключает погрешность при определении искомых параметров Γ и φ , вызванную отражением волны от выхода генератора.

Для упрощения решения уравнений (6) и (7) перепишем их в несколько измененном виде

$$A_1(x^2 + y^2) + B_1x - C_1y + D_1 = 0; \quad (14)$$

$$A_2(x^2 + y^2) - B_2x - C_2y + D_2 = 0, \quad (15)$$

где введены следующие обозначения: $x = \Gamma \cos \varphi$; $y = \Gamma \sin \varphi$; $A_1 = 1 - U_{1н} \Gamma_r^2$; $A_2 = 1 - U_{2н} \Gamma_r^2$; $B_1 = 2(1 + U_{1н} \Gamma_r \cos \varphi_r)$; $B_2 = 2(1 - U_{2н} \Gamma_r \cos \varphi_r)$; $C_1 = 2U_{1н} \Gamma_r \sin \varphi_r$; $C_2 = 2U_{2н} \Gamma_r \sin \varphi_r$; $D_1 = 1 - U_{1н}$; $D_2 = 1 - U_{2н}$; $U_{1н} = U_1/U_{1к}$; $U_{2н} = U_2/U_{2к}$.

Будем считать $4\pi L/\lambda_B = 2\pi n$, n — целое число.

Получив из решения этой системы уравнений реальную x и мнимую y составляющие ККО, находят модуль Γ и аргумент ϕ по формулам

$$\Gamma = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad \phi = \arctg\left(\frac{y}{x}\right).$$

Таким образом, в работе предложена и теоретически проанализирована относительно простая математическая модель калибруемого двухдетекторного волноводно-щелевого преобразователя и измерителя ККО на его основе, а также разработана методика определения модуля и аргумента ККО выхода генератора с помощью подвижного короткозамыкателя, что позволило исключить погрешность измерения, обусловленную влиянием этого фактора. Перспектива развития данного направления работ связана с повышением точности измерений путем уменьшения погрешностей, вызванных, в частности, неквадратичностью характеристик диодов.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Саламатин В.В. Синтез и анализ широкополосного малогабаритного СВЧ преобразователя и измерителя коэффициента отражения на его основе / В.В. Саламатин, И.Л. Афонин, И.В. Лашенко // Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника. — 2002. — Т. 45. — № 6. — С. 35–42.
2. Гимпилевич Ю.Б. Алгоритм обработки измерительных сигналов микроволнового преобразователя интерференционного типа / Ю.Б. Гимпилевич, В.И. Носкович // Радиотехника: всеукр. межвед. науч.-техн. сб. — Харьков, 2005. — Вып. 140. — С. 92–95.
3. Гимпилевич Ю.Б. Измеритель комплексных коэффициентов передачи на основе калибруемого микроволнового преобразователя / Ю.Б. Гимпилевич, В.И. Носкович // Радиотехника: всеукр. межвед. науч.-техн. сб. — Харьков, 2005. — Вып. 143. — С. 34–39.
4. Деклараційний патент № 41510 А Україна, МПК G 01 R 29/08. Спосіб визначення знаку фази S-параметрів / В.В. Саламатін, М.П. Евстігнєєв; Севастопольський державний технічний університет. — № 98052304; заявл. 06.05.1998; опубл. 17.09.2001, Бюл. № 8.

Поступила в редакцію 03.10.2010 г.

Гімплєвіч Ю.Б., Саламатін В.В., Лашенко І.В. Вимірювач комплексного коефіцієнта віддзеркалення на основі дводетекторного хвильоводно-щілинного перетворювача, що калібрує

Запропоновано метод побудови дводетекторного хвильоводно-щілинного перетворювача для вимірювача комплексного коефіцієнта віддзеркалення (ККВ). Розроблена методика вимірювання модуля та фази ККВ генератора з врахуванням калібровок, яка дозволяє шляхом алгоритмічної обробки результатів вимірювання з врахуванням калібровочних рівнянь виключити погрішності, що пов'язані з перевіддзеркаленням від генератора.

Ключові слова: хвильоводно-щілинний перетворювач, вимірювач комплексного коефіцієнта віддзеркалення.

Gimpilevich Y.B., Salamatın V.V., Laschenko I.V. Complex reflectance factor gage based on the calibrated twin-detector slotted-guide transducer

The model-building technique of complex reflectance factor gage based on calibrated twin-detector slotted-guide transducer is suggested. Method of testing of complex reflectance factor of working generator output and elimination of its influence to measuring results is considered.

Keywords: slotted-guide transducer, complex reflectance factor gage.