

УДК 621.317

Ю.Я. Смаилов, аспирант

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: smailov@inbox.ru

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБОБЩЕННЫХ КОНСТАНТ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ВЕКТОРНОГО ОТНОШЕНИЯ ДВУХ СВЧ СИГНАЛОВ

Рассмотрены вопросы калибровки измерителя векторного отношения двух СВЧ сигналов, построенного на основе микроволнового параметрического преобразователя. Предложен метод формирования образцовых значений векторного отношения. Обсуждены достоинства и недостатки приведенных вариантов процедур калибровок измерителя по результатам проведенного численного моделирования.

В работе [1] предложен метод измерения векторного отношения двух СВЧ сигналов. Рассмотрение проведено в предположении идеальности узлов входящих в измеритель. В [2] разработана обобщенная математическая модель микроволнового параметрического преобразователя функционально-неопределенной структуры. При этом высокая точность измерения достигается за счет предварительной калибровки, которая заключается в определении собственных обобщенных констант, характеризующих микроволновый преобразователь по известным образцовым значениям векторного отношения. Предлагаемые в [3] алгоритмы калибровки имеют ряд недостатков. Во-первых, процедура проходит в два этапа, что усложняет процесс и увеличивает погрешность. Во-вторых, при калибровке используется мера с нулевым значением модуля векторного отношения, представляющая собой существенный источник погрешности. Целью данной статьи является разработка способов определения собственных констант параметрического измерителя векторного отношения, исключающих указанные недостатки.

Для того чтобы провести процедуру калибровки микроволнового преобразователя, необходимо сформировать образцовые значения векторного отношения двух СВЧ сигналов. Схема формирования иллюстрируется на рисунке 1.

Сигнал с выхода СВЧ генератора $u_r(t)$ с частотой ω , начальной фазой φ_0 и амплитудой U_r поступает на вход образцового делителя мощности (ДМ). С выхода 2 ДМ сигнал поступает на m -ый образцовый отрезок линии передачи (ОЛП) с геометрической длиной L_m . Сигналы $u_1(t)$, $u_2(t)$ определяются соотношениями:

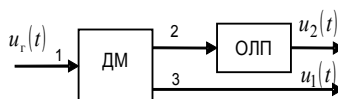


Рисунок 1 – Формирование образцового значения векторного отношения

$$u_1(t) = C_{31} U_r \cos(\omega t + \varphi_0 + \varphi_{31}); \quad (1)$$

$$u_2(t) = C_{21} \cdot U_r \cos(\omega t + \varphi_0 + \varphi_{21} + \varphi_m) \quad (2)$$

Здесь C_{21}, C_{31} – коэффициенты передачи ДМ; $\varphi_{21}, \varphi_{31}$ – фазовые сдвиги, вносимые ДМ соответственно; $\varphi_m = 2\pi L_m/\lambda$ – фазовый сдвиг, вносимый m -ым отрезком линии передачи; λ – длина волны в линии передачи; $m = 0, 1, 2, \dots, M$ – номер образцового значения; M – количество образцовых значений.

С учетом выражений (1) и (2) образцовое векторное отношение сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$ определяется формулой:

$$K_m = \frac{C_{21}}{C_{31}} e^{j(\varphi_m + \varphi_{21} - \varphi_{31})}. \quad (3)$$

Таким образом, модуль (3) определяется отношением коэффициентов передачи C_{21}, C_{31} делителя мощности, а аргумент – разностью фазовых сдвигов, вносимых ДМ и набегом фазы в ОЛП. Это позволяет формировать набор образцовых векторных отношений с различными модулями и аргументами. Точность задания модуля и аргумента зависит от погрешности аттестации датчика мощности и отрезка линии передачи. Аттестация последнего сводится к определению геометрической длины и может быть осуществлена с высокой точностью. При этом потерями в отрезке линии передачи можно пренебречь вследствие малой геометрической длины. Аттестация датчика мощности может быть выполнена с точностью $\pm 0,02$ дБ по коэффициенту деления и $\pm 0,5^\circ$ по вносимому фазовому сдвигу. При номинальных значениях коэффициента деления мощности 3 дБ погрешность аттестации образцового значения векторного отношения составит приблизительно 1 % по модулю и 1° по аргументу (при $|K| = 1, \theta_l = \pi/2$).

Обобщенная структурная схема микроволновой части измерителя приведена в [2]. Нормированные напряжения, пропорциональные мощности сигнала, на выходе датчика мощности в i -х стационарных состояниях определяются выражением

$$V_n = k_n \left| \frac{d_n + K}{d_0 + K} \right|^2, \quad (4)$$

где k_n – коэффициент пропорциональности; K – измеряемое векторное отношение; d_n, d_0 – обобщенные комплексные константы; $n = 1, 2, \dots, N-1$; N – количество стационарных состояний.

Соотношение (4) является базовым для осуществления процедуры калибровки. При этом она реализуется по набору образцовых значений векторного отношения. Формирование образцовых значений векторного отно-

шения проводится по описанному выше способу. С учетом введенных обозначений (4) преобразуется к системе калибровочных уравнений

$$V_{m,n} = k_n \left| \frac{d_n + K_m}{d_0 + K_m} \right|^2. \quad (5)$$

Отметим, что в соотношении (5) присутствует ограничение на величины d_n и K_m , поскольку знаменатель не должен обращаться в нуль. При любых сочетаниях величин d_n и K_m должно выполняться неравенство $K_m \neq d_0$. В дальнейшем будем полагать, что данное неравенство выполняется.

После ряда преобразований система калибровочных уравнений (5) примет вид

$$k_n |K_m|^2 - 2V_{m,n} |d_0| |K_m| \cos(\theta_m - \beta_0) + 2k_n |d_n| |K_m| \cos(\theta_m - \beta_n) + k_n |d_n|^2 - V_{m,n} |d_0|^2 = V_{m,n} |K_m|^2, \quad (6)$$

где $\theta_m, \beta_n, \beta_0$ – аргументы векторного отношения K_m и обобщенной комплексной констант d_n соответственно.

Нелинейная система уравнений (6) решается относительно 11 неизвестных переменных: $k_1, \dots, k_3, |d_0|, \dots, |d_3|, |\beta_0|, \dots, |\beta_3|$, что требует наличие 11 уравнений. Для этого необходимо взять количество образцовых значений векторного отношения M равное 4. Моделирование проведено в системе *MATLAB 6 R13* с помощью итерационных методов решения систем нелинейных уравнений. Для этих целей использовалась функция *fsolve* и метод решения *Levenberg-Marquart* с кубической интерполяцией. Моделирование показало, что модули и аргументы образцовых значений векторного отношения K_m должны быть различными. Точное решение системы нелинейных уравнений (6) может быть получено только если начальные условия заданы с погрешностью не превышающих 2 процента по модулю и 2^0 по аргументу. На практике такое задание начальных условий невозможно, поскольку требует априорного знания искомых величин с высокой точностью.

Устранить указанный недостаток позволяет введение новых переменных $x_n = \text{Re}(d_n)$ и $y_n = \text{Im}(d_n)$, которые являются реальной и мнимой частями обобщенной комплексной константы d_n . Тогда система (6) примет следующий вид

$$k_n |K_m|^2 - 2x_0 X_m V_{m,n} + 2k_n x_n X_m - 2y_0 V_{m,n} Y_m + 2k_n y_n Y_m + k_n (x_n^2 + y_n^2) - (x_0^2 + y_0^2) V_{m,n} = |K_m|^2 V_{m,n}, \quad (7)$$

где X_m, Y_m – реальная и мнимая части векторного отношения K_m .

Введение новых переменных не требует увеличения количества образцовых значений векторного отношения. При этом, как показало моделирование, уменьшилось затрачиваемое машинное время и требование к заданию начальных условий. Для успешного решения системы (7) достаточно задать единичные начальные условия. Недостатком этого алгоритма яв-

ляется использование образцовых значений векторного отношения, как с различными модулями, так и с аргументами.

Введение дополнительной переменной $z_n = \sqrt{x_n^2 + y_n^2}$ устраняет указанный недостаток. При этом система калибровочных уравнений принимает вид $k_n |K_m|^2 - 2x_0 X_m V_n + 2k_n x_n X_m - 2y_0 V_n Y_m + 2k_n y_n Y_m + k_n z_n^2 - z_0^2 V_n = |K_m|^2 V_n$.

Введение дополнительной переменной потребовало увеличения образцовых значений векторного отношения на одну. Проведенное моделирование показало нечувствительность к начальным условиям, возможность калибровки по образцовым значениям векторного отношения с одинаковыми модулями (например, $|K_m| = 1$) и различными аргументами. Такой подход существенно упрощает процедуру калибровки, поскольку при этом используются однотипные меры.

Задачами дальнейших исследований является разработка новых алгоритмов калибровки, свободных от вышеуказанных ограничений и оценка точности определения эквивалентных комплексных констант с учетом погрешности аттестации образцовых нагрузок.

Библиографический список

1. Gimpilevich Yu.B. A method for measuring of two microwave signals vector ratio /Yu.B. Gimpilevich, Yu.Y. Smailov // Antenna theory and techniques: Proc. of the 5th Intern. Conf. Kyiv, 24 – 27 May 2005 y. — K. 2005. — P. 127 – 266.
2. Гимпиевич Ю.Б. Обобщенная математическая модель параметрического измерителя векторного отношения двух СВЧ сигналов/ Ю.Б. Гимпиевич, Ю.Я. Смаилов // Изв. высш. учеб. заведений. Сер. Радиоэлектроника. — 2006. — Т. 50 — № 2 – 3. — С. 22 – 27.
3. Гимпиевич Ю.Б. Калибровка измерителя векторного отношения двух СВЧ сигналов /Ю.Б. Гимпиевич, Ю.Я. Смаилов// СВЧ техника и телекоммуникационные технологии: Матер. 15-ой междунар. науч. техн. конф. КрыМиКо-2005, Севастополь, 12 – 16 сентября 2005 г. — Севастополь, 2005. — С. 666 – 667.

Поступила в редакцию 27.02.2006 г.