

ПОГРЕШНОСТИ МНОГОЗОНДОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ МУЛЬТИМЕТРОВ С ЭКВИДИСТАНТНЫМИ И НЕЭКВИДИСТАНТНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Волков В. М., Зайченко О. Б.
ХНУРЭ

61166, Харьков, пр. Ленина, 14
Тел. 702-13-31, E-mail: wolf@kture.kharkov.ua

Аннотация – Доклад посвящен сравнению точности алгоритмов многозондовых микроволновых мультиметров в диапазоне рабочих частот с эквидистантным и неэквидистантным размещением датчиков. При анализе учитывается как размещение датчиков, так и алгоритмы обработки их сигналов

I. Введение

Традиционно математическая модель многозондового микроволнового мультиметра представляется системой линейных уравнений [1]. Решением системы с геометрической точки зрения является пересечение прямых в n -мерном пространстве, количество измерений которого соответствует количеству независимых переменных плюс еще одно для функции этих переменных. Это удобная модель для демонстрации проблемы, возникающей при наличии погрешностей в сигналах датчиков. Допустим имеется система двух уравнений без погрешностей, тогда на плоскости две прямые пересекаются в одной точке. Теперь учтем погрешность, так что прямые превращаются в полосы, а область пересечения полос имеет форму ромба. Оказывается в зависимости от коэффициентов в уравнениях прямых, размеры ромба могут варьироваться, и таким образом меняется погрешность результата. Математически это определяется как устойчивость системы уравнений и обусловленность системы уравнений. Применяя это к мультиметру, формулируется задача минимизации погрешности за счет задания параметров в уравнениях, реализующееся на практике размещением датчиков.

Однако сложность расчетов возрастает пропорционально росту количества переменных. Способ ухода от проблемы состоит в переходе к двумерным кривым на плоскости, то есть окружностям как у Энгена [2]. Но такая модель не учитывает мощность, что не являясь проблемой для двенадцатиполосных рефлектометров, не применимо в мультиметрах, которые кроме модуля и фазы коэффициента отражения предназначены также и для измерения мощности.

Наиболее общей моделью представления погрешности для многомерного случая служит эллипсоид рассеяния [3,4].

Существующее противоречие между эквидистантным и неэквидистантным размещением датчиков предлагается рассмотреть с учетом не только размещения датчиков, но и предлагаемых алгоритмов обработки сигналов, чтобы принять более полное и обоснованное решение по поводу предпочтительности того или иного алгоритма. Предлагается методика, которая отличается от других известных методик, во-первых, учетом алгоритма обработки сигналов датчиков. Второе положительное отличие заключается в учете взаимосвязи между переменными, выражающееся как ковариации. Третьим преимуществом является упрощение методики за счет

перехода к инженерным формулам от матричных вычислений, когда преобразование координат (поворот), выполняемый путем умножения матриц заменяется на равноценную формулу накопления частных погрешностей.

II. Сравнение дисперсионных матриц, весовых коэффициентов и результатов для эквидистантных и неэквидистантных многозондовых систем

Задача ставится как сравнение четырехзондовых эквидистантной и неэквидистантной систем датчиков, в первом случае алгоритм обработки опубликован в [5], а второй в статье [6]. Относительно самого неэквидистантного размещения сведения содержатся в [7]. Общим в подходе является наличие промежуточных переменных, которые упоминаются также в статье [Чуйко].

Общая погрешность измеряемых параметров может быть определена согласно закону накопления частных погрешностей с использованием весовых коэффициентов и среднеквадратических отклонений датчиков (СКО). Так для проходящей мощности и модуля коэффициента отражения, она может быть получена из формул

$$\begin{aligned} \sigma_{np} &= \sqrt{W_1 \sigma_P^2 + W_2 \sigma_{\Delta P \cos \varphi}^2 + W_3 \sigma_{\Delta P \sin \varphi}^2 + 2W_1 W_2 \text{cov}_{P, \Delta P \cos \varphi}} \\ \sigma_{\Gamma} &= \sqrt{W_4 \sigma_P^2 + W_5 \sigma_{\Delta P \cos \varphi}^2 + W_6 \sigma_{\Delta P \sin \varphi}^2 + 2W_4 W_5 \text{cov}_{P, \Delta P \cos \varphi}} \\ \sigma_{\varphi} &= \sqrt{W_7 \sigma_P^2 + W_8 \sigma_{\Delta P \cos \varphi}^2 + W_9 \sigma_{\Delta P \sin \varphi}^2 + 2W_8 W_9 \text{cov}_{P, \Delta P \cos \varphi}} \end{aligned} \quad (1)$$

Чтобы пользоваться этой формулой надо решить две задачи: во-первых, определить коэффициенты влияния, во-вторых, найти дисперсии и ковариации.

Из выражений [5] находим коэффициенты влияния как частные производные для погрешности косвенных измерений. Так для проходящей мощности весовые коэффициенты относительно промежуточных переменных

$$W_1 = \frac{-\Gamma}{P_{nao}(1-\Gamma^2)}, \quad W_2 = \frac{\cos \varphi(1+\Gamma^2)}{2P_{nao}(\Gamma^2-1)}, \quad W_3 = \frac{\sin \varphi(1+\Gamma^2)}{2P_{nao}(\Gamma^2-1)} \quad (2)$$

А из [6] путем дифференцирования среднего гармонического определяем погрешности измерения проходящей мощности.

$$W_1 = \frac{4 \sum_{i=1}^4 \frac{1}{P_i^2}}{\left(\sum_{i=1}^4 \frac{1}{P_i} \right)^2}, \quad W_2 = \frac{4 \sum_{i=1}^4 \frac{\cos \theta_i}{P_i^2}}{\left(\sum_{i=1}^4 \frac{1}{P_i} \right)^2}, \quad W_3 = \frac{4 \sum_{i=1}^4 \frac{\sin \theta_i}{P_i^2}}{\left(\sum_{i=1}^4 \frac{1}{P_i} \right)^2} \quad (3)$$

Дисперсионная матрица строится, исходя из матрицы системы уравнений, большинство элементов матрицы системы уравнений тригонометрические функции, появившиеся в результате раскрытия косинуса суммы в выражении для сигнала датчика. Аргументом тригонометрической функции является фазовое расстояние между датчиками, которое в свою очередь является функцией геометрического рас-

стояния между датчиками. Для эквидистантного размещения расстояние между датчиками составляет $\lambda/6$, а для неэквидистантного вычисляется по формулам

$$l_1 = 0, l_{2,3} = \frac{\lambda}{1 \pm 0.707 \frac{q-1}{q+1}}, l_4 = l_2 + l_3 \quad (4)$$

q -коэффициент перекрытия равный отношению максимальной длины волны к минимальной, в данном случае он равняется двум. Частотный диапазон коаксиального тракта составляет несколько октав, то есть существенно превышает диапазон рабочих частот волновода. Соответственно, размещение датчиков должно модифицироваться, что влечет за собой коррекцию методики оценивания, в частности должна измениться и дисперсионная матрица и весовые коэффициенты.

При эквидистантном размещении новые датчики добавляются на кратном к начальному расстоянию, а рабочими являются по прежнему четыре датчика, но со своими фазовыми расстояниями, которые и учитываются через дисперсионную матрицу, а весовые коэффициенты не меняются, как не меняется алгоритм обработки.

При неэквидистантном размещении количество датчиков должно быть кратно 2^n , то есть после четырех датчиков следует восьмизлементная решетка, затем шестнадцатизлементная и т.д. Изменится также коэффициент перекрытия и степень аппроксимирующего частотную характеристику полинома Чебышева, что приведет к вычислению нового расстояния между датчиками по формулам аналогичным выражениям (4). В вычислениях проходящей мощности как среднего гармонического участвуют все датчики, значит, эти изменения учитываются в дисперсионной матрице. Что касается весовых коэффициентов, то в этих выражениях пропорционально увеличится количество слагаемых в каждой частной производной в соответствии с увеличенным числом датчиков в физической системе.

III. Заключение

Анализ точности алгоритмов МММ и предложенная методика комплексной оценки его параметров

диапазоне частот позволяют улучшить качество проектирования МММ.

IV. Список литературы

- [1] *Caldecott R.* The generalized multiprobe reflectometer and its application to automated transmission line measurement. - IEEE Trans. on Antennas and Propagation Vol. AP-21, July, pp.550-554
- [2] *Энжен Г. Ф.* Успехи в области СВЧ измерений. - ТИИЭР, т.66, №4., апрель 1978.-с.8-19.
- [3] *Колотыгин С. А., Чуйко В. Г.* Измерение падающих и отраженных волн преобразователем с неидеальными зондами. - Томографические методы в физико-технических измерениях/ ВНИИФТРИ.-М., 1985, с.143-149.
- [4] *Львов А. А., Моржаков А. А., Кудряшов Ю. Ю., Галкина Л. В.* Статистический подход к проблеме измерения параметров СВЧ-двухполюсников с помощью многополюсника. // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, Вып.8(422). - 1989.- С. 57-63.
- [5] *Волков В. М., Зайченко О. Б.* Синтез преобразователя для микроволнового мультиметра. // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. - Харьков,- 2000. Вып.113.- С.94-100.
- [6] *Механников А. И., Перепелкин В. А.* Микроволновый мультиметр и алгоритмы его работы// Измерительная техника. - 1994. - №3.- С.52-56.
- [7] *Механников А. И.* Синтез многоэлементных преобразователей проходящей мощности. // Метрология. -1973. - №4.- С.27-36.

ERRORS OF MICROWAVE MULTIPROBE MULTIMETER WITH EQUIDISTANT AND NONEQUIDISTANT SENSORS

Volkov V. M., Zaichenko O. B.
KNURE

Lenin av., 14, Kharkov - 61166, Ukraine
Tel.: 702-13-31, e-mail: wolf@kture.kharkov.ua

Abstract – Compared in this paper is the accuracy of two algorithms of multi-probe microwave multimeters within operating frequency range with equidistant and non-equidistant probes location. The probes position and algorithms of their signals processing are taken into consideration.