

ЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОЗОНДОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ МУЛЬТИМЕТРОВ

Волков В. М., Зайченко О. Б.
ХНУРЭ, 61166, Харьков, пр.Ленина, 14
Тел.: 40-93-31, e-mail: library@kture.kharkov.ua

Аннотация - Доклад посвящен анализу точности алгоритмов многозондовых микроволновых мультиметров в диапазоне рабочих частот, сравниваются эквидистантное и неэквидистантное размещение датчиков. Анализ производится на основе дисперсионной матрицы. Разработана оптимальная методика комплексной оценки параметров сигналов и трактов СВЧ в диапазоне частот.

I. Введение

Измерение проходящей мощности СВЧ и параметров тракта с помощью многозондового микроволнового мультиметра (МММ) по сравнению с методом направленного ответвителя, широко распространенным в измерительной технике, характеризуется слабой чувствительностью к внеполосным составляющим спектров сигналов мощных генераторов. Сущность многозондового метода состоит в измерении параметров сигнала и тракта по показаниям дискретно установленных в этом тракте неподвижных датчиков проходного типа. При изменении длины волны возникают проблемы, связанные с фиксированным положением датчика.

Внедрению в практику измерений МММ препятствует ряд нерешенных проблем. Одна из них заключается в оптимизации размещения датчиков, так как с их размещением связаны алгоритм обработки, и в конечном счете точность определения искомых параметров. Способов размещения существует два: эквидистантное и неэквидистантное. Первое позволяет использовать простой и точный алгоритм обработки, учитывающий изменение частоты сигнала через поправочный коэффициент, вычисляемый на основе показаний датчиков. При этом существует критическая длина волны, при которой все датчики выдают одинаковые сигналы и восстановить картину стоячей волны в тракте не удастся. При неэквидистантном размещении вероятность наличия пораженных критических частот значительно меньше, хотя и при неэквидистантном размещении показания всех датчиков могут иметь одинаковые значения, если длина волны генератора будет равна наименьшему общему делителю расстояний между датчиками. В последнем случае усложнение частотных свойств достигается ценой усложнения алгоритмов обработки или применением приближенных алгоритмов (например, вычислением проходящей мощности через среднее геометрическое значение сигналов датчиков).

Задачей исследования является сопоставление этих двух подходов и выяснение частотных свойств алгоритмов.

Частотные свойства мультиметров определяются основными тремя факторами: размещением зондов, алгоритмами обработки сигналов датчиков и зависимостью коэффициента преобразования датчиков от частоты. Частотная зависимость коэффициента преобразования датчиков от частоты в этой работе не рассматривается (это систематическая погрешность, которая определяется и учитывается один раз) [1-3].

II. Методика оценки погрешности

Когда линейризованную систему уравнений, где каждое уравнение соответствует сигналу своего датчика и отличается от последующих значением фазового сдвига, записывают в матричной форме, то получают матрицу, состоящую из косинусов и синусов фазовых расстояний между датчиками. В теории планирования эксперимента она называется матрицей плана эксперимента. С целью получения информации о наиболее удачном размещении датчиков можно моделировать размещение датчиков путем перебора значений фазовых расстояний, каждый раз получая при этом новые оценки, и затем сравнивать их между собой. Наиболее широко при оптимизации планов эксперимента используется критерий D-оптимальности [4]. Его определение состоит в том, что детерминант дисперсионной матрицы, соответствующий D-оптимальному плану меньше, чем у любого другого плана. Проследим связь между матрицей плана и дисперсионной матрицей.

В общем случае система n линейризованных уравнений должна быть решена относительно промежуточных переменных P , $\Delta P \sin \varphi$, $\Delta P \cos \varphi$. Причем количество уравнений может быть больше, чем количество переменных. Тогда для решения такой системы применяется метод наименьших квадратов (МНК). Суть его заключается в следующем. При избыточном количестве уравнений систему нельзя решить непосредственно, но на основании принципа максимального правдоподобия можно найти совокупность значений, которая с наибольшей вероятностью удовлетворяла бы исходным зависимостям. Эта вероятность достигает максимума при минимуме функции, стоящей в показателе экспоненты плотности вероятности многомерного нормального распределения случайной выборки. Функция в показателе экспоненты представляет собой сумму квадратов ошибок. При нормализации системы уравнений матрицу плана домножают справа на транспонированную. Количество уравнений в нормализованной системе становится равным количеству неизвестных, а полученная матрица носит название информационной матрицы Фишера. Действительно, количество информации Фишера представляет собой математическое ожидание второй производной функции правдоподобия (плотности вероятности) в логарифмическом виде. Вторая производная функции правдоподобия выносится из-под знака интегрирования при вычислении среднего значения, так как она не зависит от плотности вероятности, а то что остается под знаком интегрирования обращается в единицу по определению. Информационная матрица обратна дисперсионной. Чем больше дисперсия, тем больше разброс в наблюдаемых значениях и тем меньше информации о ее среднем значении заключено в одном наблюдении.

Когда внедиагональные элементы информационной матрицы Фишера, представляющие собой суммы тригонометрических функций, обратятся в нуль, про-

изойдет максимизация определителя. Чем больше определить информационной матрицы, тем более устойчивое решение в диапазоне частот обеспечивается, то есть выполняется условие D-оптимальности. Эта общая теория имеет интересную особенность, если количество датчиков пропорционально степени двойки, то есть количество датчиков равно четырем, восьми, шестнадцати и так далее. Тогда целесообразно применять размещение датчиков, которое рассчитывается на основании корней полинома Чебышева [5-8]. Заметим, что при ином количестве датчиков увеличения точности не наступает, так как преобразование суммы косинусов в произведение для последующей аппроксимации полиномом, предполагает выполнение группировки слагаемых.

III. Результаты моделирования

Для сравнительного анализа точности в полосе частот на основании дисперсионной матрицы использовались эквидистантные и неэквидистантные датчики в количестве четырех штук. Дисперсионная матрица в данном случае показывает как трансформируется их погрешность в погрешность промежуточных переменных, а после выполнения преобразования координат, - в погрешность искомого значения проходящей мощности, модуля и фазы коэффициента отражения. Критерием, изменяющимся при моделировании является k - отношение текущей длины волны к средней длине волны, - таким образом увеличению k соответствует увеличение длины волны в тракте.

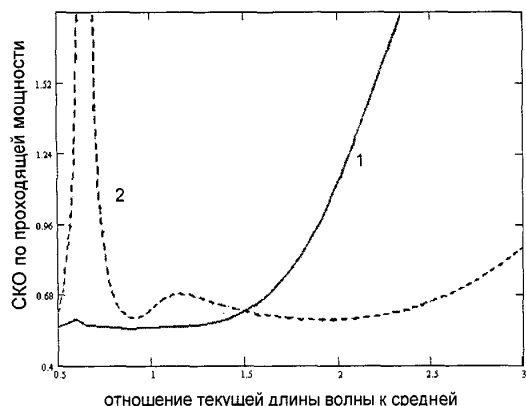


Рис.1 Зависимость SKO проходящей мощности от отношения текущей длины волны к средней длине волны

Fig.1 Passing power standard deviation dependency from frequency to average frequency relation

Для равенства условий при сравнении эквидистантного и неэквидистантного размещений применялось единое преобразование координат, аналогично [4]. В дальнейшем может быть осуществлен общий алгоритм обработки сигналов датчиков. В качестве такого алгоритма может выступать МНК.

Результаты моделирования представлены на рис.1. Так как особый интерес представляет проходящая мощность, после преобразования координат

необходимо выполнить еще одно преобразование на основании определения проходящей мощности как разности падающей и отраженной мощностей. Из рисунка следует что неэквидистантное размещение лучше при увеличении длины волны и хуже при уменьшении длины волны

IV. Сравнение алгоритмов

Полученные результаты моделирования свидетельствуют о зависимости частотных свойств мультиметров от способа размещения датчиков. Для четырех, восьми, шестнадцати и т.д. датчиков, размещенных неэквидистантно, погрешность, характеризующая СКО, уменьшается при увеличении частоты. При частотах меньше средней по результатам моделирования оказывается лучше эквидистантное размещение. Кроме того частотные свойства МММ определяются алгоритмами обработки сигналов датчиков. Для получения повышенной точности обработки сигналов датчиков при неэквидистантном их размещении требуются сложные алгоритмы.

Разработанные в Харьковском национальном университете радиоэлектроники алгоритмы усовершенствованы с учетом требований стандартов [9], таким образом, решена проблема критических частот автоматической перекоммутацией сигналов датчиков. Она производится на основании восстановленной картины стоячей волны, зависящей от фазы коэффициента отражения нагрузки и от частоты генератора. Перекоммутация происходит, если знаменатель приближается к нулю. Тогда в эквидистантной пятёрке датчиков рабочими являются не первый, второй, третий, четвертый датчик, а второй, третий, четвертый, пятый, то есть происходит сдвиг на один датчик вправо, если первым считать крайний левый датчик в пятёрке, или влево, если нулевая ситуация возникает в этом варианте подключения.

Если все датчики фиксируют одинаковые показания, это является критерием перехода на следующую пятёрку эквидистантных датчиков, когда новое расстояние в два раза меньше предыдущего. Такая ситуация возможна при идеально согласованной нагрузке. Тогда необходимо произвести блокировку коммутатора по результату вычисления модуля коэффициента отражения тракта ($|Γ| \rightarrow 0$).

Методика оценки погрешности для алгоритмов обработки, применяемых вместо МНК, отличается весовыми коэффициентами при переходе от промежуточных переменных к окончательным, вычисляемым по алгоритмам обработки сигналов датчиков. Основным недостатком является зависимость весовых коэффициентов от текущих значений измеряемых параметров. С другой стороны такой подход к определению погрешности в диапазоне частот обладает преимуществами по сравнению с применением для этих целей, например, Якобиана, именно учетом вклада в погрешность алгоритма обработки.

IV. Заключение

Анализ точности алгоритмов МММ и предложенная методика комплексной оценки его параметров в диапазоне частот позволяют улучшить качество проектирования МММ.

V. Список литературы

- [1] Патент Украины № 21427А. Многозондовый микроволновый мультиметр/ Волков В.М., Индина О.Б. и др. Заявл. 09.04.96.- Оpubл. 15.07.97.
- [2] Зайченко О.Б., Зайченко Я.Б., Волков В.М. Синтез и анализ алгоритмов МММ// В книге Итоги работы за 98/99 уч. год и задачи университета на 99/2000 уч.год, Харьков. 2000. - С.104-112
- [3] Волков В.М., Зайченко О.Б. Синтез преобразователя для микроволнового мультиметра. // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. - Харьков, - 2000. Вып.113. - С.94-100.
- [4] Львов А.А., Моржаков А.А., Кудряшов Ю.Ю., Галкина Л.В. Статистический подход к проблеме измерения параметров СВЧ-двухполосников с помощью многополосника. // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, Вып.8(422). - 1989. - С. 57-63.
- [5] Механиков А.И. Синтез многоэлементных преобразователей проходящей мощности. // Метрология. - 1973. - №4. - С.27-36.
- [6] Механиков А.И., Перепелкин В.А. Синтез проходных приемных преобразователей для многоцелевого радиотехнического эталона диапазона СВЧ.- Измерительная техника. - 1997. - №4. - С.56-59.
- [7] Механиков А.И., Перепелкин В.А. Микроволновый мультиметр и алгоритмы его работы// Измерительная техника. - 1994. - №3. - С.52-56..
- [8] Мыльников А.В. Микроволновый мультиметр высокого уровня мощности// Измерительная техника, 1994.- №3.- С.60-62.
- [9] Билько М.И., Томашевский А.К. Зондовая линия в качестве средства аттестации ваттметров в коаксиальных трактах.-Теория и практика измерения параметров электромагнитных колебаний и линий передачи.: Тез. докл. науч.-техн. конф., [22-27 сент., 1991] / Харьков: Харьк. ин-т радиоэлектрон., 1991. С.43.

FREQUENCY PROPERTIES OF MULTIPROBE MICROWAVE MULTIMETERS

Volkov V. M., Zaichenko O. B.
KNURE, Lenin av., 14, Kharkov-61166, Ukraine
Tel.: 40-93-31
E-mail: library@kture.kharkov.ua

Abstract - The report is devoted to the analysis of exactitude of multiprobe microwave multimeter algorithms in a range of operational frequencies, comparison the equidistant and unequidistant arrangement of sensors. The analysis is produced on basis of variance and covariance matrix. The optimum technique of complex signals and tracts parameters evaluation in microwave frequency band is developed.

I. Introduction

The measurement of a passing power and tract parameters with the help of MMM has a series of advantages. The multiprobe method essence is in measurement of parameters of a signal and tract through sensor readings, discretely installed in the tract. There are problems connected to immovability of sensors when the wavelength was modified.

The introduction in practice of MMM measurements is hindered with unsolved problems. The principal problem is optimi-

zation of the arrangement of sensors, as the algorithm of processing, frequent properties and solution exactitude is connected to the arrangement of sensors. There are two modes of the arrangement: the equidistant and unequidistant arrangement. The equidistant arrangement allows using simple and exact algorithm sensor signals processing, taking into account a signal frequency modification through a correction factor computed on the base of a sensor readings, but there is a critical wavelength, at which all sensors produce identical signals and it fails to restore a standing wave picture in a tract.

II. Error estimation method

When where each equation corresponds to a signal of the sensor and differs from consequent by a phase shift magnitude, a set of equations receives a matrix consisting of cosines and sinus of phase distances between sensors. With the purpose of deriving an information about the most successful sensors arrangement it is necessary to simulate the sensors arrangement by search of values phase distances, each time receiving new estimation and then to compare them. The definition of a criterion of a D-optimality is that a determinant of a variance and covariance matrix appropriate to a D-optimum plan is less than at any other plan.

The least squares algorithm assumes for the realization availability of appropriate rather complicated and expensive computing devices. The more simple algorithms are used in practice. The equidistant sensor signal processing algorithms do not concede least square method exactitude, as they represent a strict mathematical solution of a set of equations. The more information matrix determinant corresponds, the more steady solution is achieved. This general theory has an interesting singularity, if the sensors amount is equal to four, eight, sixteen and so on. Then it is useful to apply the unequidistant sensors arrangement on Chebyshev polynomial base.

III. Simulation results

There were used four equidistant and unequidistant sensors for the analysis of exactitude in frequency band on variance and covariance matrix base. The variance and covariance matrix in this case shows how sensors errors are transformed into intermediate variables standard deviation, and after coordinate transformation into passing power and complex reflection coefficient standard deviation. During simulation varied frequency was used to average frequency relation. The imitation results are shown on fig.1.

VI. Algorithms comparison

There are two emergency situations, giving restriction: when a wavelength increases and an adjacent sensors reading unintelligible and when a wavelength decreases so wave period is placed between an adjacent sensors and their readings became equal. In occasion, when adjacent sensor readings are equal or closely spaced quantity, to prevent zero in the denominator, the sensors commutation has to be executed in the microwave multimeter, shifting to the right or left side on distance equal to phase distance between a sensors. It requires one more sensor. Besides this, an expression gives information about wavelength as $\arccos \theta$.

V. Conclusion

The MMM algorithm accuracy analysis and its proposed parameters estimation methodics in frequency range permit to improve design MMM quality.