

Держстандарт України.

Харківський державний науково-дослідний інститут метрології

III Міжнародна науково-технічна конференція

МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА (МЕТРОЛОГІЯ – 2002)

8 – 10 жовтня 2002 р.

Наукові праці конференції у 2-х томах

Том 1

Харків

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ МНОГОЗОНДОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ МУЛЬТИМЕТРОВ

Волков В.М., Зайченко О.Б.

(Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков)

Многозондовые микроволновые мультиметры (МММ) получили свое название и соответственно появились как новое средство измерений в середине 90-х годов, хотя по сути были разработаны в конце 70-х годов на базе объединения многозондовых ваттметров проходящей мощности и автоматических анализаторов СВЧ цепей (ААЦ), называемых тогда многозондовыми анализаторами режимов трактов и сигналов. Они позволяют измерять или контролировать падающую, отраженную и проходящую в нагрузку мощность, модуль и фазу коэффициента отражения, длину волны в линии передачи и могут применяться в радиолокационных, навигационных и связных станциях, радио и телевизионных передатчиках, системах ускорителей заряженных частиц, установках СВЧ сушки и нагрева, а также в метрологических лабораториях.

Многозондовый принцип измерения комплексного коэффициента отражения впервые был предложен в 1947 г. Самуэлем и уже в 60-х годах был реализован во множестве вариантов автоматических измерителей полных сопротивлений. Эти приборы при стабилизированной фиксированной малой мощности генератора качающейся частоты при помощи двух пар эквидистантных детекторных датчиков позволяют получать частотный "портрет" кривой рассогласования нагрузки на экране осциллографического индикатора по диаграмме Вольперта. Различные пути, направленные на развитие теории и техники ААЦ, путей совершенствования их параметров, предприняты Энгеном в США, а также Гимпилевичем, Бондаренко и др. в Украине, Никулиным и Львовым в России, достаточно хорошо описаны в литературе.

Многозондовые ваттметры проходящей мощности большого уровня встроенного типа впервые были разработаны в ХНУРЭ в конце шестидесятых годов. Пройдя несколько этапов развития и усовершенствования, они трансформировались в многофункциональные высокоэффективные рабочие приборы (МММ) [1, 2]. Значительный вклад в создание образцовых МММ внесли российские ученые Механников, Чуйко, Мыльников, Перепелкин и др. [3]. При этом был решен ряд сложных задач теоретического и практического характера.

МММ можно классифицировать по следующим основным признакам: типу применяемых датчиков, способу их размещения вдоль волновода и алгоритмическому и метрологическому обеспечению - на рабочие и образцовые; способу размещения датчиков - на эквидистантные и неэквидистантные; количеству, способу размещения, типу датчиков и алгоритмов обработки их сигналов - на узкополосные и широкополосные; типу и конструкции датчиков - на приборы малого, большого и сверхбольшого уровня проходящей мощности.

В основе работы МММ лежит принцип восстановления кривой стоячей волны с помощью нескольких, чаще квадратичных по полю или линейных по мощности точечных датчиков, расположенных определенным образом вдоль передающего тракта между генератором и нагрузкой. Чаще всего это эквидистантное расположение $\lambda_g/6$ или $\lambda_g/8$, где λ_g - длина волны в волноводе, реже - неэквидистантное чебышевское. Какое из них применить на практике определяется целью проектирования МММ. Последнее размещение датчиков предпочтительно при создании образцовых мультиметров.

Сигнал каждого датчика описывается нелинейным урзанием относительно падающей мощности, модуля и фазы коэффициента отражения нагрузки, фазового расстояния между соседними датчиками. Решение системы уравнений сигналов датчиков

позволяет определить искомые значения мощности и комплексного коэффициента отражения.

В настоящее время существует более двух десятков алгоритмов обработки сигналов датчиков многозондовых ваттметров, анализаторов СВЧ цепей и мультиметров, в связи с чем особенно остро стоит задача их классификации и определения оптимального алгоритма по критериям точности и быстродействия. Предлагается классифицировать алгоритмы МММ на прямые и итерационные, а также на алгоритмы с усреднением и без него. особым критерием при классификации являются частотные свойства алгоритма. Для решения нелинейной системы уравнений можно использовать численные методы, в том числе итерационные, основанные на уточнении решения на каждом последующем шаге, либо прибегнуть к линеаризации. Последний подход предпочтительнее как обладающий достаточной точностью и отличающийся простотой реализации. При этом систему нелинейных уравнений надо линеаризовать, ввести промежуточные переменные, а затем строго математически решать с получением аналитических выражений для каждого измеряемого параметра. Частотные свойства мультиметра определяются алгоритмами обработки сигналов датчиков. Одночастотные мультиметры имеют три эквидистантных датчика и простые алгоритмы и схему их реализации. Для перекрытия 40% рабочей полосы частот прямоугольного волновода требуется пять датчиков, а полоса частот в несколько октав коаксиального тракта перекрывается девятью датчиками с соответствующими схемами перекоммутации.

Современные тенденции совершенствования алгоритмов для МММ сводятся к следующим основным направлениям: адаптации алгоритмов к изменениям частоты сигнала и фазы коэффициента отражения нагрузки; статистической обработке и уменьшению случайной погрешности датчиков и схемы обработки их сигналов в избыточной измерительной системе; учету и коррекции систематических составляющих погрешностей. Как отдельную проблему можно выделить синтез алгоритмов для контроля многомодовых и нерегулярных линий передачи, объемных резонаторов.

Важнейшим звеном в МММ являются датчики проходящей мощности, к которым предъявляются более жесткие требования, чем к датчикам в составе обычных ваттметров или ААЦ. Прежде всего, они должны быть идентичными, взаимозаменяемыми, обладать долговременной стабильностью и линейностью коэффициента преобразования, помехоустойчивостью, надежностью, широким частотным и динамическим диапазоном, быстродействием, электрической, тепловой и механической прочностью, технологичностью, быть простыми и дешевыми в производстве, быть самокалибруемыми.

Из всего многообразия известных датчиков для рабочих МММ большого и среднего уровня мощности предпочтение можно отдать разработанным в ХНУРЭ квазиточечным датчикам на основе поглощающей стенки [4], а для образцовых МММ термисторам и микропроволочным болометрам, для импульсных же МММ твердотельным датчикам на "горячих" электронах. Отметим, что любое несоответствие вышеупомянутым требованиям или применение других датчиков с "букетом" недостатков, как правило, влечет за собой усложнение алгоритмов и схем обработки сигналов, снижение надежности, увеличение стоимости и отказу в конце концов от такого средства контроля, исключая, пожалуй, случай с созданием образцовых МММ, когда могут применяться самокалибруемые датчики, например, пондеромоторные или терморезистивные. Есть перспективы в этом смысле и у датчиков на основе поглощающей стенки. Предполагается, что датчики проходящей мощности Волкова [4] будут выпускаться серийно. Оригинальность датчиков заключается в том, что они, обладая долговременной стабильностью коэффициента преобразования, могут быть проградированы и аттестованы во всех сечениях волноводов, что делает их универсальными. Это соответственно позволит значительно упростить аттестацию мультиметров.

Конструкции и технология производства датчиков будет совершенствоваться в направлении миниатюризации на базе микроэлектронной интеграции со встроенными АЦП, УПТ, нормализаторами сигналов и корректорами погрешностей при одновременном улучшении параметров характеристик датчиков, указанных выше.

Структуры и аппаратные средства МММ прошли эволюцию от аналоговых схем с тремя ваттметрами и ручным расчетом измеряемых параметров, электромеханической и электронной аналоговой реализацией алгоритмов до качественно нового цифрового преобразования и обработки сигналов при помощи миниатюрных микропроцессоров и микроконтроллеров. В одной из последних разработок ХНУРЭ - рабочем мультиметре МММ-2 - применен микропроцессор семейства AVR фирмы Atmel AT90S8535, позволяющей на одной БИС реализовать рабочие алгоритмы и корректировать систематические составляющие погрешностей.

Измерения, выполняемые мультиметром, по идее, относятся к совокупным или совместным, реже косвенным, а их техническая реализация делает их прямыми. При этом изучение составляющих их погрешностей, качественное и количественное их определение, учет и коррекция структурно-алгоритмическими методами является важнейшей процедурой при проектировании и аттестации мультиметра. Основными их источниками являются: неадекватность выбранной математической модели МММ модели физической, то есть несовершенство алгоритмов; погрешности датчиков, включая их частотные и динамические свойства, нелинейность, неточность и др.; погрешности обработки и индикации сигналов; погрешность градуировки. Основной акцент в способах уменьшения погрешностей очевидно будет сделан на алгоритмически-структурных приемах, базирующихся на глубоком изучении их систематических составляющих.

Одной из актуальных нерешенных к настоящему времени проблем является разработка метрологического обеспечения МММ, так как нормативной документации пока не существует, несмотря на целый ряд предлагаемых вариантов. Проблема заключается в неоднородности мультиметров, имеющие общее функциональное назначение, но отличающихся во всем остальном: датчиками, алгоритмами обработки их сигналов, структурными схемами, а также уровнями сигналов, диапазоном рабочих частот и линий передачи. Метрологическое обеспечение в настоящее время осуществляется по двум измеряемым параметрам. Для поверки по мощности рекомендуется применять усовершенствованные серийные калориметрические ваттметры оконечного типа. Доработка заключается в детальном изучении и коррекции систематических погрешностей каждого серийного экземпляра. Для поверки по комплексному коэффициенту отражения в связи с невозможностью применения на больших уровнях аттестованных образцовых нагрузок с известными параметрами предлагается имитационный калибратор, моделирующий возможные варианты сочетания фазы, модуля коэффициента отражения в полосе рабочих частот волновода.

Список литературы:

1. Патент № 20427А. Украина. МКИ G01R21/04. Микроволновый многозондовый мультиметр/ Волков В.М., Индина О.Б., Евдокимов В.В., Огуй А.В. (Украина) - Заявл. 09.04.96. - Оpubл. 15.07.97. Бюл. №1.-7с.
2. Волков В.М., Зайченко О.Б., Огуй А.В. Многозондовый микроволновый мультиметр большого уровня мощности // Радиотехника. - 2001. вып. 120. - с.166-169.
3. Механиков А.И., Перепелкин В.А. Микроволновый мультиметр и алгоритмы его работы. // Измерительная техника. - 1994, № 3. - с.52-56.
4. Патент № 29881. Украина. МКИ G01R21/04. Универсальный датчик проходящей мощности СВЧ Волкова / Волков В.М. (Украина). - Заявл. 30.09.97. - Оpubл. 15.06.01. Бюл. №5.-5с.