МЕТРОЛОГІЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

II Міжнародна науково-технічна конференція

Наукові праці конференції

Харків - 1999

УДК 621.317

СТРУКТУРЫ МНОГОЗОНДОВЫХ МИКРОВОЛНОВЫХ МУЛЬТИМЕТРОВ

Зайченко О.Б., Волков В. М.
(Харьковский технический университет радиоэлектроники, Харьков)

Проблемы измерения СВЧ мощности и других параметров с помощью микроволновых мультиметров актуальны в настоящее время, о чем свидетельствуют многочисленные публикации в печати. Целью данной статьи является анализ структур микроволновых мультиметров. Предложено классифицировать структуры микроволновых мультиметров по трем критериям:

во-первых, хронологически на пять поколений;

во-вторых, на основании самой структуры на параллельные (многоканальные) и параллельно-последовательные (многоточечные);

в-третьих, по способу реализации структуры на аналоговые и цифровые.

Рассмотрим структуры приборов в хронологическом порядке, начиная с приборов первого поколения [1, 2]. В справочнике [1] приведены алгоритмы для вычисления проходящей мощности и модуля коэффициента отражения. Михелевич Г.К. приводит расчеты и графики, позволяющие производить измерения с помощью трехзондового прибора [2]. К сожалению структуры не представлены.

Второе поколение включает приборы, разработанные в ХТУРЭ (60-е годы)[3]. Для этих приборов характерен узкий диапазон частот, а динамический диапазон определяется типом используемого датчика. В качестве квадратичных датчиков могут использоваться металлические и полупроводниковые термопары, термометры сопротивлений в сочетании с поглощающей стенкой. В качестве линейных датчиков вакуумные диоды в режиме пикового детектора с емкостной или индуктивной связью с линией. Датчики расположены на расстоянии $\lambda/8$ друг от друга. Структура содержит диодные вольтметры, операционные усилители, УПТ, электромеханический вольтметр для измерения напряжения в трехфазных цепях. На электромеханическом вольтметре выполняется умножение, возведение в квадрат, суммирование. Недостатками являются узкий частотный диапазон, погрешность 10%, а также невозможность автоматизации измерений.

В приборах третьего поколения датчиками могут быть дигадекторы или пленочные термопары. В первом случае измеряется импульсная мощность, во втором средняя. Структурная схема включает в себя блок коммутации, преобразовательную схему, видеоусилители, фиксаторы амплитуды [4]. По сравнению с приборами второго поколения частотный диапазон увеличен с помощью корректирующего множителя в алгоритме, увеличена долговечность, так как элементная база полностью полупроводниковая. К приборам третьего поколения можно причислить прибор, описываемый Мыльниковым А.В. [9], это подтверждает тот факт, что аналоговый приборы еще не исчерпали всех своих возможностей, а особенно полезны они в рабочих средствах измерения. Упомянутый прибор состоит из селекторов, сумматоров, ЦАП, переключателя, АЦП и индикатора, который обрабатывает сигналы с датчиков по упрощенным формулам, однако упрощение приводит к погрешности 5.5%.

Появление четвертого поколения связано с достижениями в цифровой технике, которые позволили отказаться от аналоговой элементной базы. В работе Колотыгина С.А. и др. [5] в качестве зондов в преобразователе использованы болометры, которые размещены неэквидистантно. Каждый из четырех болометров включен в автобалансный мост, напряжения на болометрах измеряются вольтметрами, подключенными к болометрам через фильтры, предназначенные для сглаживания пульсаций, возникающих в режиме импульсной модуляции. Для увеличения разрешающей способности прибора применен источник опорного напряжения. Информация об измеряемом напряжении поступает в коде в блок интерфейсных плат, а затем в ЭВМ, в качестве которой использована ЭВМ типа ""Электроника Д3-28". В статье Коломойца О.Н.[6] была

описана структура, состоящая из импульсного усилителя видеосигнала, устройства выборки-хранения, преобразователя напряжение-частота, ФНЧ, сумматора, опорного генератора, К580-комплекта. Характерной особенностью является наличие преобразователя напряжения в частоту, что позволяет улучшить точностные характеристики измерения. Программное обеспечение прибора содержит стандартные подпрограммы арифметики с плавающей запятой для вычислителя К1-20, а также сервисные функции. Структура предлагаемая Мальшевым В.Н. и Тылевичем М.Л. [7] состоит из первичных преобразователей, программируемого универсального контроллера "Электроника МК-2702", дисплея, ОЗУ объемом 12 кБайт, АЦП. В обоих случаях [6,7] рабочая полоса частот мала, но повышена точность.

Наконец, пятое поколение приборов рассмотрим на примере [8,14], структуры включает первичные преобразователи (в качестве датчиков применяются термисторы или болометры), коммутатор, АЦП, ЭВМ.

К основным элементам любых измерительных систем, в том числе микроволновых мультиметров относятся воспринимающие элементы - датчики, устройства формирующие значение образцовых мер, устройства сравнения значений измеряемой величины и образцовой меры, а также устройства формирования и выдачи результатов. Из шестнадцати возможных комбинаций (каждого из элементов может быть от одного до нескольких штук) в микроволновых мультиметрах реализовано две:

параллельная [5, 11];

параллельно-последовательная [7, 12].

Преимуществом первых является наибольшее быстродействие. Достоинство вторых - меньшее количество элементов.

Наличие аналоговых и цифровых реализаций объясняется как историческими предпосылками (быстрый прогресс микропроцессорной техники способствует ее широкому внедрению в измерительных системах), так и тем что аналоговая техника не исчерпала своих возможностей.

Структура, способ реализации и выбор датчика зависят также от назначения измерительной системы, то есть для рабочих или эталонных средств. Основные требования к рабочим средствам измерения: надежность и быстродействие. Этим требованиям удовлетворяет параллельная структура с термопарными датчиками, способ реализации может быть как цифровым, так и аналоговым.

Важнейшей характеристикой эталонного средства измерения является точность, поэтому предъявляются высокие требования к точности, начиная с датчиков (например, термисторный датчик обеспечивает погрешность менее 2%); а для компенсации ряда других погрешностей обязательно наличие средств вычислительной техники.

Сравнение по точности аналоговых и цифровых приборов будет в пользу цифровых, хотя цифровые измерители имеют свои погрешности, например, оцифровки (АЦП) и усечения (зависит от разрядности процессора и проявляется при выполнении операции умножения). Существуют следующие способы повышения точности цифровых измерителей: выбор АЦП с большей разрядностью, применение микропроцессоров с поддержкой операций с плавающей запятой. Применение средств вычислительной [illegible] позволяет предоставляет возможность повысить точность измерения за счет компенсации нелинейности характеристик датчиков, применения метода наименьших квадратов [12], псевдобайесовских оценок [13], экспертных систем, то есть сделать измерительные системы интеллектуальными.

Используя результаты анализа, разработана структура[14], которая затем была реализована на базе МК1816ВЕ51, который позволяет измерять падающую проходящую, отраженную мощности, модуль и фазу коэффициента отражения, длину волны в "горячем" режиме в широком диапазоне частот.

В завершение статьи обозначим перспективные направления:

- применение экспертных систем в сочетании с имитационным моделированием;

- разработка рабочих средств, в том числе надежных, простых датчиков с минимумом отражения, постоянным коэффициентом полезного действия, хорошими частотными свойствами на базе термопар;
- повышение точности за счет обработки наблюдений по мере их поступления, таким образом может быть получена значительная экономия объема вычислений. Последовательную нестационарную оценку с минимальной дисперсией ошибки можно получить с помощью фильтра Калмана, реализуя предсказание и коррекцию. Уравнение фильтрации оценок может быть реализовано в цифровом виде.

Список литературы

1.Михелевич Г.К. Измерения с помощью нескольких зондов.-Вопросы радиоэлектроники, 1959, вып.11.-с.54-67.

2. Доброхотов Б.А. Измерения в электронике. Справочник, т.1-М.-Л., Энергия,1965.

3.В.Д.Кукуш, Волков В.М.,Жендубаев В.Н., Мальшенко Л.Е. Измеритель проходящей мощности для несогласованных трактов.-Радиоэлектроника летательных аппаратов,вып.1, Харьков, ХАИ.-с.27-37.

4.Кукуш В.Д., Волков В.М. и др. Технический отчет о НИР №66-38. – Харьков, 1968.

5.Колотыгин С.А., Масленникова И.П., Мыльников А.В.. Чуйко В.Г.

Возможность применения многозондового метода для измерения комплексного коэффициента отражения волноводных нагрузок в режиме импульсно модулированных СВЧ-колебаний.-Исследования в области прецизионных радиотехнических измерений: Сб.науч.тр.НПО ВНИИФТРИ, М.,1989.-с.82.

6.Коломоец О.Н., Симнишкис Р.Б., Скучас Ю.П. Измеритель импульсной мощности и коэффициента отажения. –Научные труды высших учебных заведений Литовской ССР.Радиоэлектроника, 1988, 24(1).-с.110-116.

7.Мальшев В.Н., Тылевич М.Л. Автоматизированный четырехзондовый измеритель КСВ и проходящей мощности в СВЧ-тракте.- Известия ленинградского электротехнического института.-1988.-№396.-с.57-61.

8.Механиков А.И., Перепелкин В.А. Микроволновый мультиметр и алгоритм его работы.-Измерительная техника, 1994.- №3.-с.52-56.

9.Мыльников А.В. Микроволновый мультиметр высокого уровня мощности.-Измерительная техника, 1994.-№3.-с.60-62.

10.Перепелкин В.А. Микроволновый мультиметр на основе четырехзондового преобразователя проходящей мощности.-Измерительная техника, 1983,№5.

11.Кабанов Д.А., Никулин С.А., Петров В.В. Салов А.Н. Разработка автоматических анализаторов СВЧ-цепей с 12-полюсными рефлектометрами.- Измерительная техника,1985, 10.-с.38-40.

12. А.с.1509754, G01R27/00 (СССР). Устройство для измерения полных сопротивлений./ Асович П.Л., Полевой В.В., Жуков С.А., Обровец В.В., Иванюхин В.И.

13. Кудряшов Ю.Ю.,Львов А.А., Моржаков А.А., Ширшин С.И.Оптимзация параметров многозондовой измерительной линии.- Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, Вып. 10(414),1988.- с.30-34.

14. Патент №.96041406, G01R21/04 (Украина). Многозондовый микроволновый мультиметр/ Волков В.М., Индина О.Б., Евдокимов В.В., Огуй А.В.