

МНОГОЗОНДОВЫЙ МИКРОВОЛНОВЫЙ МУЛЬТИМЕТР БОЛЬШОГО УРОВНЯ МОЩНОСТИ

Многозондовые микроволновые мультиметры предназначены для допускового автоматического дистанционного контроля сигналов и режима работы линии передачи большой мощности в широком диапазоне длин волн и измерения падающей, отраженной и проходящей в антенну мощности, модуля и фазы ее коэффициента отражения и предупреждения аварийных ситуаций.

Принцип работы мультиметра базируется на изучении кривой стоячей волны в волноводе между нагрузкой и генератором с помощью универсальных широкополосных датчиков мощности проходного типа, построенных на принципе поглощающей стенки. С помощью микропроцессорной системы усиленные сигналы нескольких датчиков преобразуются в измеряемые величины падающей, отраженной, проходящей мощности, модуля и фазы коэффициента отражения. При необходимости можно контролировать и длину волны в передающем тракте. В реальном масштабе времени микропроцессор реализует синтезированные алгоритмы по жестким программам. Благодаря этому удается компенсировать множество систематических и случайных погрешностей.

Главными преимуществами мультиметра и датчиков являются высокая точность, широкий частотный и динамический диапазон, высокое быстродействие, электрическая, тепловая и радиационная стойкость.

Для фиксированной частоты и фазового расстояния между датчиками $\lambda_w/6$ получен алгоритм для проходящей мощности

$$P_{np} = \sqrt{\frac{1}{3} \left\{ (P_1 + P_2 + P_3)^2 - 2(P_1^2 + P_2^2 + P_3^2) \right\}} = \sqrt{\frac{1}{3} \left\{ \left(\sum_{i=1}^3 P_i \right)^2 - 2 \sum_{i=1}^3 P_i^2 \right\}}.$$

Для измерительной системы с изменяющейся в широких пределах частотой и фиксированным расстоянием между датчиками адаптивный алгоритм имеет вид:

$$P_{np} = \sqrt{P_2 \frac{P_1 + P_3 - P_2(1 + \cos \theta)}{1 - \cos \theta} - \frac{(P_1 - P_3)^2}{4 \sin^2 \theta}},$$

где $\cos \theta$ – коэффициент, несущий информацию об изменении длины волны, обеспечивающий непрерывное измерение в непрерывном поддиапазоне частот

$$\cos \theta = \frac{P_1 - P_4 - P_2 + P_3}{2(P_2 - P_3)}.$$

Для широкополосных систем возможны ограничения в виде двух критических ситуаций, когда длина волны увеличивается, показания соседних датчиков неразличимы и при уменьшении длины волны между соседними датчиками укладывается полный период волны, и их показания становятся одинаковыми.

В случае, когда сигналы двух датчиков становятся равными или близкими по значению, чтобы не допустить нуля в знаменателе, в мультиметре производится перекоммутация датчиков, сдвигающая систему отсчетов вправо или влево на расстояние, равное фазовому расстоянию между датчиками. Для этого устанавливается “избыточный” датчик (пятый). Кроме того, это выражение дает информацию о длине волны как $\arccos \theta$.

Тогда, если $P_2 - P_3 = 0$, то поправочный коэффициент становится другим, отличным от бесконечности

$$\cos \theta = \frac{P_2 - P_5 - P_3 + P_4}{2(P_3 - P_4)}.$$

Остальные параметры вычисляются следующим образом:

$$P_{\text{над}} = \frac{P + P_{\text{нр}}}{2}, \quad P_{\text{омп}} = \frac{P - P_{\text{нр}}}{2}, \quad |\Gamma| = \sqrt{\frac{P_{\text{омп}}}{P_{\text{над}}}},$$

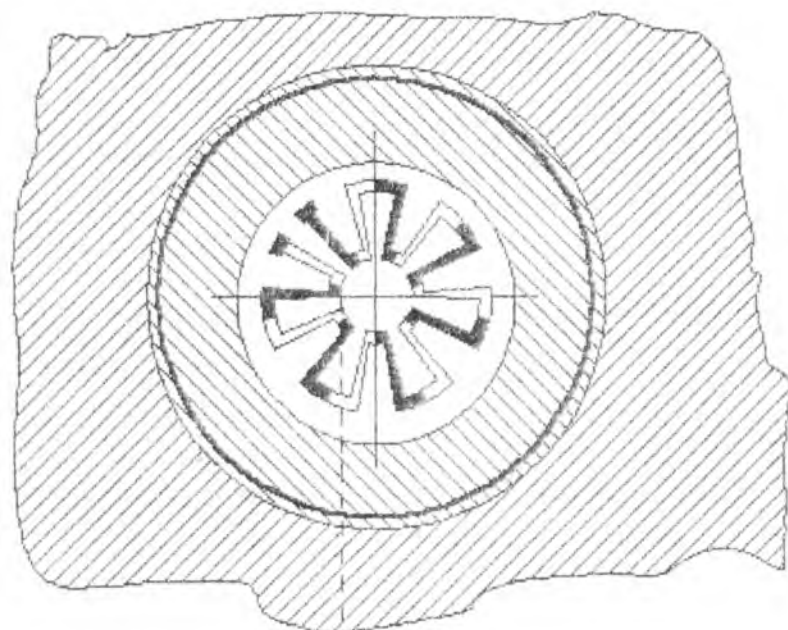
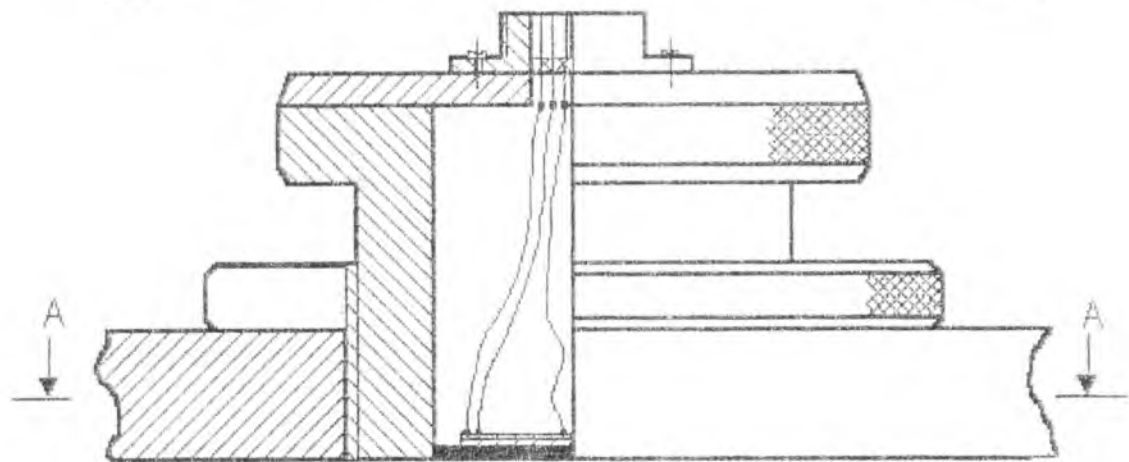
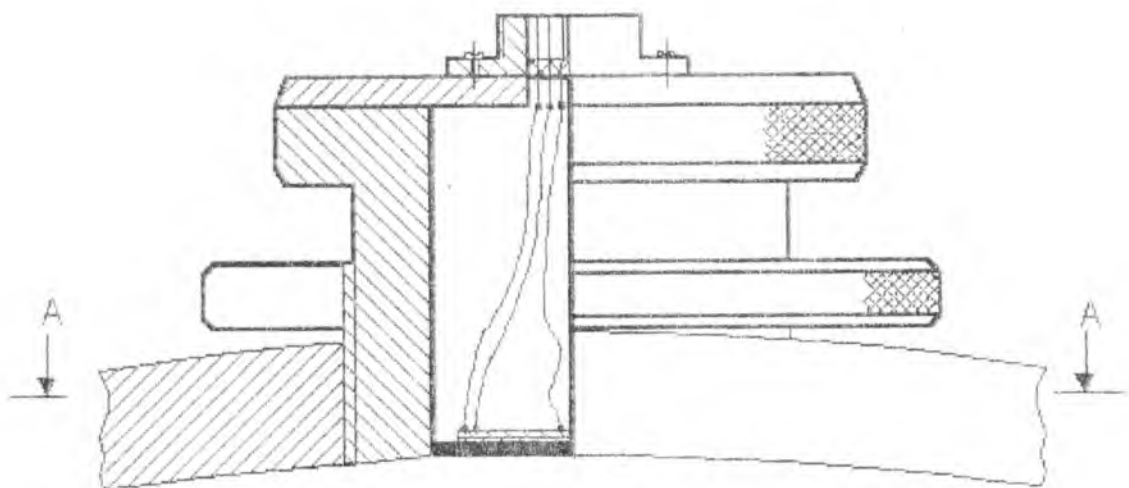
$$P = \frac{0.5(P_1 + P_3) - P_2 \cos \theta}{1 - \cos \theta}, \quad \lambda = \frac{k}{\arccos \cos \theta}$$

В итоге преобразователь работает в непрерывном диапазоне частот. Из всего множества датчиков в данном диапазоне частот работают пять. Для определения проходящей мощности на фиксированной частоте достаточно трех, четвертый нужен для вычисления в диапазоне частот поправочного коэффициента, который представляет собой фазовое расстояние между датчиками, вычисленное на основании показаний самих датчиков и отслеживающее изменение частоты. Пятый датчик обеспечивает исключение указанной выше неопределенности. Таким образом обеспечивается частотная независимость алгоритма в заданном непрерывном диапазоне, например, полосе рабочих частот волновода. В случае, когда рабочая длина волны приближается к удвоенному расстоянию между датчиками, производится перекоммутация последних таким образом, что рабочими становятся датчики, расстояние между которыми в два раза меньше исходного. Для расширения рабочей полосы частот в коаксиальных трактах приходится включать дополнительные датчики, исключая из схемы "выпавшие" из-за неопределенности [3-7].

Отдельно взятый датчик (рис. 1) состоит из цилиндрического корпуса с поглощающим элементом в виде плоской металлической пластины, прикрепленной к рабочему торцу корпуса, батареи термопар кольцевидной формы, напыленной на диэлектрическую подложку. Батарея размещена на внутренней поверхности поглощающего элемента, при этом горячие спая ее расположены в области центра кольца, холодные – в области его периферии, а к центру подсоединен проводник для калибровки. На внешней поверхности рабочей области корпуса имеется резьба для ввинчивания датчика в трубу внешнего проводника коаксиального волновода и фиксации его положения с помощью контргайки. Прикрепление датчика к рабочему торцу цилиндрического корпуса обеспечивает хороший теплообмен. Малая масса, хороший теплообмен с волноводом, смещение холодного спая термобатареи обеспечивают быстрдействие датчика. Чувствительность датчика повышается за счет большого количества термопар в батарее. Высокая электрическая прочность тракта обеспечивается за счет ввинчивания датчика в трубу внешнего проводника коаксиального волновода или в стенку прямоугольного волновода таким образом, что внешняя поверхность поглощающего элемента и внутренняя плоскость стенки находятся на одном уровне. Это достигается повторением изгиба торцевой части корпуса датчика, помещаемой внутрь коаксиала, изгибом внутренней поверхности трубы внешнего проводника коаксиального тракта при помощи специальной технологии. Кроме того, за счет ввинчивания датчика в волновод обеспечивается хороший тепловой контакт датчика с ним и увеличивается тепловая прочность при измерении больших и сверхбольших уровней мощности. Чтобы обеспечить минимальную частотную зависимость коэффициента преобразования датчика применяется специальная двухслойная поглощающая стенка.

Датчик работает следующим образом. Установленный в трубу внешнего проводника коаксиальной линии или стенки волновода, датчик проходящей мощности выдает на НЧ разьеме ЭДС, пропорциональную квадрату поля в месте его установки. Протекая по поверхности поглощающего элемента, СВЧ токи нагревают его. В связи с тем, что поглощающий элемент по периферии прикреплен к массивному корпусу, тепло от этой части элемента быстрее уходит на корпус волновода, чем от центральной части элемента. Таким образом, температура в центре будет выше, чем по его периферии. Разность температур преобразуется в термо-ЭДС с помощью кольцевидной батареи пленочных термопар, горячие спая которой размещены в области центральной части поглощающего элемента, а холодные – в области его периферии. В связи с тем, что коэффициент преобразования датчика в широкой полосе частот тракта практически не изменяется, градуировать его достаточно только на средней частоте диапазона. Для этого необходимо использовать образцовый калориметр. Для проведения периодической калибровки в центре поглощающего элемента прикреплен проводник для внешнего подгрева последнего через НЧ разьем от источника постоянного или низкочастотного тока, который легко измерить с требуемой точностью [1,2,8].

В измерительном блоке (рис. 2) производится усиление, коммутация, аналого-цифровое преобразование, вычисление, одновременная индикация трех результатов: мощности, модуля и фазы коэффициента отражения. Применен УИТ с автоматической коррекцией дрейфа нуля.



\top \dagger
 \times r

Рис. 1

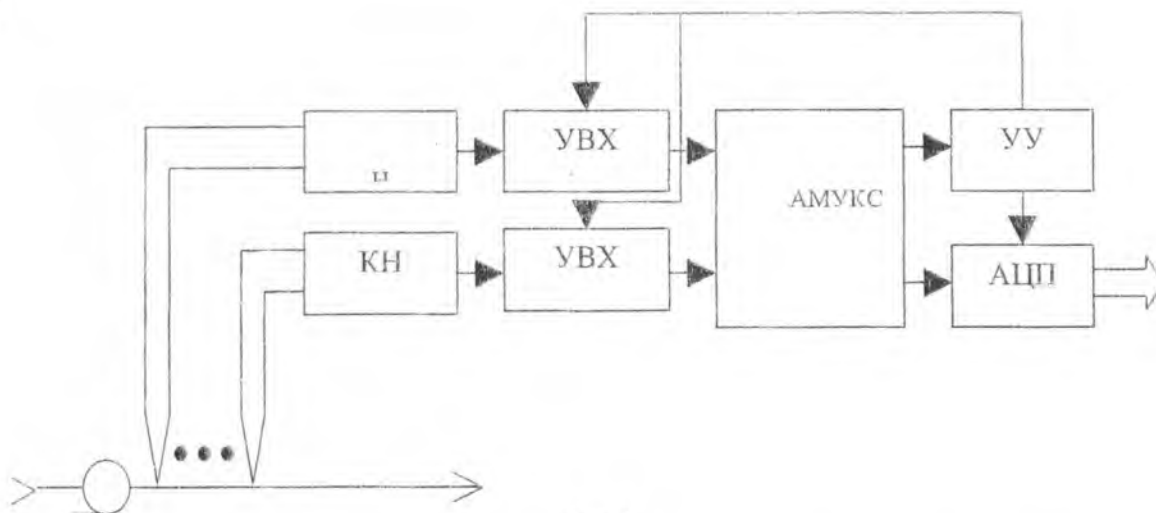


Рис. 2

Сформированный сигнал запоминается устройством выборки и хранения (УВХ) и хранится там до тех пор, пока более медленно работающий аналого-цифровой преобразователь (АЦП) завершит преобразование сигнала. Устройство управления (УУ) переключает каналы, синхронизирует работу всех частей блока. Когда аналоговый мультиплексор (АМУКС) включен непосредственно на входе АЦП, появляется возможность измерения одиночных импульсов, если применять датчики импульсной мощности, построенные на иных принципах, чем датчики, описанные ранее в данной статье. Однако за счет использования не одного УВХ, а нескольких, такая схема будет дороже.

С АЦП сигналы в оцифрованном виде поступают на микроконтроллер MCS-51, в состав которого входят все узлы, необходимые для автономной работы. Многозондовый микроволновый мультиметр можно использовать как автономно, так и в составе автоматических систем (АС) управления, измерения параметров, диагностики СВЧ трактов и сигналов. Для связи с оборудованием АС используется последовательный интерфейс RS-232.

Надо полагать, что МММ найдут широкое применение при разработке, настройке, регулировке и выведении в заданный эксплуатационный режим радиоэлектронных систем, в том числе в СВЧ-энергетике. Учитывая их простоту и невысокую стоимость можно рекомендовать их в качестве встроенных средств контроля при эксплуатации в "горячем" режиме.

Список литературы: 1. Пат. 29881А Украина, МКИ G01R21/02. Универсальный волноводный датчик проходящей мощности СВЧ Волкова / Волков В.М.; Бюл. №6-11. № 97094823; Заявл.30.09.1997; Опубл.15.11.2000. 2. Волков В.М. Температурное поле квазиточечного датчика проходящей мощности СВЧ // Радиотехника. 2000. Вып.115. С.84-89. 3. Кукуш В.Д., Волков В.М., Женоубаев В.Н. Измеритель проходящей мощности для несогласованных трактов // Радиотехника летательных аппаратов. Харьков. 1971. Вып.1. с.27-35.4. Пат. 22620А Украина, МКИ G01R23/06. Устройство для измерения сверхвысоких частот / Волков В.М., Индина О.Б. - № 96010268; Заявл.23.01.1996; Опубл.17.03.1998. 5. Пат. 24427А Украина, G01R21/04. Многозондовый микроволновый мультиметр / Волков В.М., Индина О.Б. и др.; -№ 96041406; Заявл.09.04.1996; Опубл.15.07.1997. 6. 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.104-112.7. Волков В.М., Зайченко О.Б. Метрологические характеристики МММ // Радиотехника и информатика. Харьков. 2000.-С.34-37. 8. Волков В.М., Зайченко О.Б. Синтез преобразователя для микроволнового мультиметра // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. Харьков. 2000. Вып. С.94-100.

Харьковский государственный технический университет радиотехники

Поступила в редколлегию 26.02.01