

# МНОГОЗОНДОВЫЙ МИКРОВОЛНОВЫЙ МУЛЬТИМЕТР С ДАТЧИКАМИ НА ОСНОВЕ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СТЕНКИ

Волков В.М., Зайченко О.Б., Огуй А.В.

ХТУРЭ, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14

Тел.: (0572) 40-93-31, e-mail: [library@kture.kharkov.ua](mailto:library@kture.kharkov.ua)

*Аннотация* - Доклад посвящен анализу встроенных многозондовых микроволновых мультиметров большого уровня с датчиками на основе поглощающей стенки. Рассмотрены одночастотный и широкополосный приборы.

## I. Введение

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 также удается компенсировать ряд систематических и случайных погрешностей.

На сегодняшний день существует несколько направлений развития многозондового метода. Главными преимуществами мультиметра и датчиков на основе поглощающей стенки являются высокая точность, широкий частотный и динамический диапазон, высокое быстродействие, электрическая, тепловая и радиационная стойкость.

## II. Алгоритм

Для фиксированной частоты и фазового расстояния между датчиками  $\lambda_0/6$  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 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, и показания соседних датчиков неразличимы и когда при уменьшении длины волны между соседними датчиками укладывается полный период волны, и их показания становятся одинаковыми.

Тогда производится перекоммутация датчиков, смещая систему отсчетов вправо или влево на расстояние равное фазовому расстоянию между датчиками. Для этого устанавливается пятый "избыточный" датчик.

Остальные параметры вычисляются следующим образом:

$$P_{nad} = \frac{P + P_{np}}{2}, P_{omp} = \frac{P - P_{np}}{2}, |\Gamma| = \sqrt{\frac{P_{nad}}{P_{omp}}}$$

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

$$\lambda = \frac{k}{\arccos \theta}.$$

Для определения проходящей мощности на фиксированной частоте достаточно трех, четвертый нужен для вычисления в диапазоне частот поправочного коэффициента. Для расширения рабочей полосы частот в коаксиальных трактах приходится включать дополнительные датчики, исключая из схемы датчики, "выпавшие" из-за неопределенности.

## III. Универсальный датчик проходящей мощности

Датчик (рис. 1) на основе поглощающей стенки [3] состоит из цилиндрического корпуса с поглощающим элементом в виде плоской металлической пластины, прикрепленной к рабочему торцу корпуса, батареи термпар кольцевидной формы, напыленной на диэлектрическую подложку. Батарея размещена на внутренней поверхности поглощающего элемента, при этом горячие спаи 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 или стенку прямоугольного волновода и фиксации его положения с помощью контргайки. Прикрепление датчика к рабочему торцу цилиндрического корпуса увеличивает теплообмен. Малая масса, хороший теплообмен и смещение холодного спая увеличивают быстродействие. Чувствительность повышается за счет большого количества термпар в батарее. За счет ввинчивания датчика в трубу внешнего проводника коаксиального волновода или стенку прямоугольного волновода таким образом, что внешняя поверхность поглощающего элемента и внутренняя плоскость стенки находятся на одном уровне, обеспечивается высокая электрическая прочность.

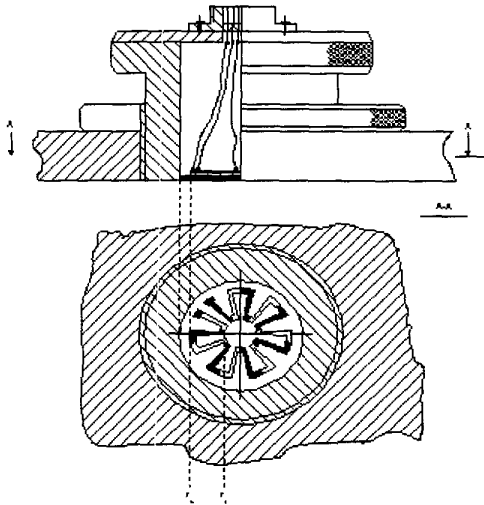


Рис.1 Универсальный датчик проходящей мощности  
Fig.1 Universal passing power sensor

Чтобы обеспечить минимальную частотную зависимость коэффициента преобразования датчика применяется специальная двухслойная поглощающая стенка.

Датчик работает следующим образом. Установленный в трубу внешнего проводника коаксиального 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, то тепло от этой части элемента быстрее уходит на корпус волновода чем, от центральной части элемента. Разность температур преобразуется в термоЭДС с помощью кольцевидной батареи пленочных термопар, горячие спаи 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 проведения периодической калибровки в центре поглощающего элемента прикреплен проводник для внешнего подогрева последнего через НЧ разьем от источника постоянного или низкочастотного тока, который легко измерить с требуемой точностью.

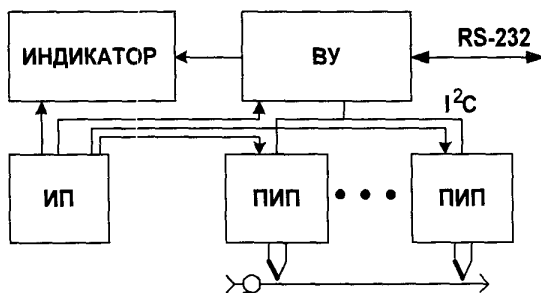


Рис. 2 Структурная схема многозондового микроволнового мультиметра  
Fig. 2 Multiprobe microwave multimeter structure

Основные достоинства такого датчика постоянство коэффициента преобразования в полосе частот, широкий динамический диапазон 30-60 дБ, высокое быстродействие, позволяющее использовать предлагаемый датчик в автоматическом режиме работы.

#### IV. Структурная схема многозондового микроволнового мультиметра

Измерительный блок (рис.2) должен обеспечить предварительную обработку аналоговых сигналов, поступающих с первичных преобразователей, обработку и передачу результатов вычислений на индикаторы. Амплитуды входных сигналов датчиков 0.01...10 мВ. МММ состоит из вычислительного устройства (ВУ), первичных измерительных преобразователей (ПИП), индикатора, источников питания (ИП). Вычислительное устройство выполнено на базе однокристального программируемого микроконтроллера фирмы Intel MCS-51. Первичный измерительный преобразователь реализован на основе микроконтроллера PIC14000 фирмы Atmel, имеющем внутрикристалльный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), к которому подключается универсальный датчик проходящей мощности СВЧ. Связь между ведущим микроконтроллером MCS-51 и первичными преобразователями осуществляется через последовательную шину I<sup>2</sup>C. Вычисленные значения измеряемого параметра отображаются на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ). Данный прибор можно использовать как автономно, так и в составе автоматических систем (АС) управления, измерения, диагностики. Для связи с оборудованием АС используется последовательный интерфейс RS-232.

#### IV. Заключение

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что они являются основой для создания нового класса МММ с улучшенными метрологическими характеристиками и расширенным частотным и динамическим диапазоном.

#### IV. Список литературы

- [1] Многозондовый микроволновый мультиметр. Волков В.М., Индина О.Б. и др. Патент Украины № 21427А.
- [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] Универсальный датчик проходящей мощности СВЧ Волкова. Патент Украины № 29881А.

# MULTIPROBE MICROWAVE MULTIMETER WITH ABSORBING WALL SENSORS

Volkov V.M., Zaichenko O.B., Oguy A.V.  
KTURE, Lenin av., 14, Kharkov - 61166, Ukraine  
Tel.: 40-93-31, e-mail: [library@kture.kharkov.ua](mailto:library@kture.kharkov.ua)

**Abstract** - The report is devoted to the analysis built-in multiprobe microwave multimeter of a large level with absorbing wall sensors. The one-frequent and broadband measurement devices are considered.

## I. Introduction

The multiprobe microwave multimeter was designed for an automated remote signal and transmission line mode checking for high level power in the wide frequency range and incident, reflected, passing to antenna power, reflection coefficient modulus and phase measurement and emergency situation prevention. The main technical characteristics are: frequency range – one-two octave, power measurement level - 0.5-50 W and more, reflection coefficient modulus - 0-1, main measurement error  $\pm(3-5)\%$  (without verification error).

## II. Device and the Action Concept

The action concept is based on standing wave exploration in the waveguide between termination and generator with an aid of the universal broadband passing power sensors, built on absorbing wall principle. The amplified signals from the sensors are transformed to measuring quantity of incident, reflected, passing power, reflection coefficient modulus and by means of the microprocessor system. There is opportunity to check a wave length, if necessary. The microprocessor implements the synthesized algorithms in accordance with program in real-time scale. Due to this it is possible to make up for many systematic and random errors. The main multimeter and sensors advantage are a high accuracy, wide frequency range and dynamic range, a high speed of response, an electrical, thermal and radiation stability

## III. Signal and Transmission Line Parameters Definition Algorithm

There are two emergency situations, giving restriction: when a wavelength increases and an adjacent sensors readings unintelligible and when a wavelength decreases, so a wave period placed between an adjacent sensors and their readings became equal one. In occasion, when an 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  $\arccos \theta$ . The device operates in a continuous frequency range. There are five sensors operate in the given subrange. There are three of them enough to define passing power on the fixed frequency, the fourth one is necessary to calculate correction coefficient (phase distance between adjacent sensors, calculated on the basis of sensor readings, for frequency change monitoring. The fifth one supplies uncertainty exception. So an algorithm frequency independence is maintained in the given frequency range. In case when working wavelength approaches to two time distance between an adjacent sensors, the sensors commutate, so a working sensors became that ones, distance between which is two time less than first distance.

## IV. Universal Sensor for Passing Power Measurement

Each sensor consists of a cylinder frame with absorbing element as a flat metal plate attached to working end of frame, a ring thermocouple battery sprayed on the dielectric base. The battery is placed in the inner side of an absorbing element, so that its hot junctions are placed in the center of the ring. The cold ones are situated in the perimeter. There is a conductor in the center. There is a thread on the outer side of frame to screw the sensors into the pipe of an outer coaxial conductor and to fix its situation by a nut. The frame working end increases heat exchange. The little weigh, a better heat exchange and a cold junction offset increases speed of response. The sensitivity increases at the expense of great amount thermocouples in the battery. The high electrical stability is maintained due to a sensor screwing in the inner coaxial pipe or waveguide, so that the inner absorbing element surface and the inner wall surface are at the same level. It achieves by an end sensor frame curve follows an inner coaxial pipe, so increases thermal stability during high and very high power level measurement. To obtain minimal transformation coefficient frequency dependence, apply two layers absorbing wall.

The sensors operate in such a way: installed in the outer coaxial pipe, passing power sensor outputs a voltage at LF plug, the voltage is proportional to field intensity in its installation place. Running on absorbing element surface, VHF currents heat absorbing element. As well as the absorbing element perimeter is connected to a massive frame, the heat from this element part goes to waveguide faster than from central part. So the center temperature will be higher than one at the perimeter. The temperature difference converts into voltage by the ring film thermocouple battery, that hot connections are situated in the central absorbing element part, the cold one is in its perimeter.

It is enough to calibrate only at the middle frequency due to a transformation coefficient in wide frequency range stability. The reference calorimeter is used for this purpose. There is a conductor attached in the absorbing element center for its external heating through LF plug from DC or RF current source for periodical calibration, that it is easy to measure with needed accuracy.

## V. Multiprobe microwave multimeter structure

The measurement unit has to maintain preliminary analog signals from sensors processing and signal transmission to the indicators. The input signal amplitudes are 0.01-10mV.

MMM consists of a computing device, sensor, indicator, power supplies. The computing device is carried out on base of 8-bit microcontroller MCS-51 of the Intel corporation. The primary measurement converter is realized on base of the microcontroller PIC14000 of the Atmel corporation, it includes on-chip analog-to-digital converter, the universal passing power sensor connected to microcontroller PIC14000. The connection between the master microcontroller MCS-51 and primary converters is carried out through a serial bus of I2C type. The measurement parameter calculated values are mapped on the liquid-crystal indicator. The given measurement device can be used as autonomous one in control, measurement, diagnosis automatic systems. The serial interface of RS-232 type is used for connection with equipment.

## VI. Conclusion

The practical value of obtained outcomes is that they are a basis for creation of a new class MMM with improved metrological characters and an extended frequency and dynamic range.