

УДК 537.8.029

## ДИСТАНЦИОННАЯ КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Т.К. ТОЛОЧКО, А.В. ГУСИНСКИЙ, А.М. КОСТРИКИН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 23 октября 2007*

Представлен метод проведения дистанционной калибровки средств измерений через Интернет, рассматриваются вопросы внедрения данного метода в аккредитованных лабораториях.

*Ключевые слова:* дистанционная калибровка, эталоны, измерение, информационные технологии.

### Введение

Новым направлением в автоматизации метрологических исследований является дистанционная калибровка средств измерений (СИ) через Интернет. Данный метод предоставляет возможность оперативного контроля метрологических характеристик (МХ) СИ и находит все большее распространение благодаря уменьшению времени проведения метрологических исследований, снижению их стоимости, решению проблем, связанных с перевозкой.

Впервые о возможности дистанционного управления СИ было заявлено О'Доудом и другими [1]. С февраля 2001 г. Национальная Физическая Лаборатория Великобритании проводит дистанционную калибровку автоматических анализаторов цепей, и становится первой службой калибровки, предоставляющей возможность оперативного контроля измерений по национальным эталонам простым подключением к сети Интернет [2].

В испытательной лаборатории аппаратуры и устройств СВЧ БГУИР ведутся работы по созданию СИ, позволяющих реализовать возможность проведения дистанционной калибровки. В настоящее время разработаны и изготовлены измерители коэффициентов передачи и отражения (скалярные анализаторы цепей) и измерители комплексных коэффициентов передачи и отражения (векторные анализаторы цепей) в диапазонах частот 0,01–37,5 ГГц и 78,33–118,1 ГГц [3]. В состав разработанных СИ входит персональный компьютер (ПК), выполняющий роль индикаторного устройства. Особенностью таких приборов является программное обеспечение (ПО), позволяющее управлять данными СИ в реальном масштабе времени по стандартным линиям связи, отображать результаты измерений и воздействовать на процессы калибровки и обработки результатов измерений [4,5].

### Последовательность проведения дистанционной калибровки средств измерений

Дистанционная калибровка СИ осуществляется по схеме, приведенной на рис. 1.



Рис. 1. Схема проведения дистанционной калибровки

Основными компонентами системы являются калибруемое СИ, специализированное ПО, эталонные меры (ЭМ). Для проведения дистанционной калибровки лаборатория, использующая СИ, подает заявку в МС и оплачивает затраты, связанные с проведением исследований, затем по почте получает эталонные средства измерений (ЭСИ), необходимые для проведения калибровки. Сотрудник лаборатории обращается к Web-странице МС загружает специализированное ПО подключается к серверу системы. Сотрудник метрологической службы (МС), с помощью специализированного ПО, управляет калибруемым СИ, проводятся дистанционные измерения с помощью полученных ЭСИ, по полученной измерительной информации рассчитывается неопределенность измерения, после чего выдается свидетельство о калибровке.

Очевидно, дистанционная калибровка не может быть реализована для всех СИ, а только для тех, которые имеют возможность подключения к ПК. В простейшем случае Интернет действует как средство передачи данных.

Наиболее удобным является проведение дистанционной калибровки в случаях, когда: в качестве используемых ЭСИ применяются эталонные меры (например, аттенюаторы, согласованные и несогласованные нагрузки); лаборатория, нуждающаяся в калибровке СИ обладает собственными ЭСИ; ЭСИ входит в состав калибруемого СИ.

### Способ реализации дистанционной калибровки

Приведем способ реализации дистанционной калибровки на примере измерителя комплексных коэффициентов передачи и отражения VNA25-37. На рис. 2 представлена структурная схема измерителя.

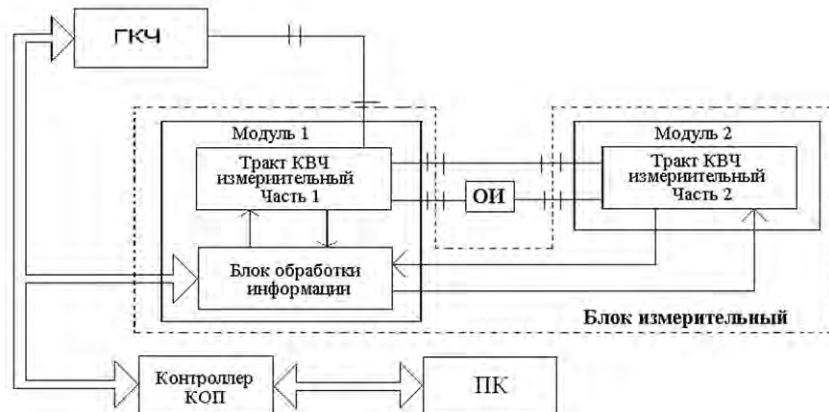


Рис. 2. Структурная схема измерителя VNA 25-37

Измеритель состоит из генератора качающейся частоты (ГКЧ), измерительного блока, включающего в себя два модуля, и ПК с контроллером канала общего пользования (КОП). Совместная работа ГКЧ и измерительного блока измерителя обеспечивается через КОП под программным контролем ПК. Реализация обмена по КОП осуществляется с помощью контроллера КОП (Adapter MWM-488), который выполнен в виде полуплаты и вставляется в конструктив ПК. Для обеспечения возможности автоматизации измерения всех S-параметров объекта измерения (ОИ) с любыми геометрическими размерами КВЧ измерительный тракт разделен на две

части, каждая из которых расположена в отдельном модуле измерительного блока. За четыре периода перестройки частоты ГКЧ с выходов КВЧ измерительного тракта снимаются сигналы, несущие информацию о четырех измеряемых S-параметрах ОИ. Эти сигналы поступают в блок обработки информации (БОИ), который осуществляет их аналого-цифровую обработку и преобразует к виду, необходимому для передачи по КОП.

В измерителе реализована сетевая технология "клиент-сервер", позволяющая организовать одновременное управление и проведение независимых измерений на нескольких удаленных измерителях с одного компьютера; организовать обмен измерительной и калибровочной информацией; построить на базе средств измерений, поддерживающих данную технологию, широкую измерительную сеть.

ПО и алгоритмы отдельных подпрограмм разработаны таким образом, чтобы исключить неверные действия оператора. ПО измерителя, реализующее алгоритм функционирования измерителя и различные сервисные функции, написано на языке Delphi и входит в комплект поставки измерителя.

Управление работой измерителя, выбор режимов измерения и калибровки, а также выбор формы представления и регистрации результатов измерения осуществляются с клавиатуры ПК в диалоговом режиме.

ПО, позволяющее проводить дистанционные измерения, состоит из двух частей: серверной части ПО, устанавливаемого на ПК, входящий в состав измерителя и клиентской части ПО, устанавливаемого на ПК МС. После установки ПО, сотрудник лаборатории, использующей измеритель, запускает программу "VNA Server" и приводит сервер в режим ожидания нажатием кнопки "Start server". Сотрудник МС запускает программу "VNA Client" и после выбора в меню "Server" параметров настройки соединения (режим поиска сервера по IP адресу или по имени) устанавливает соединение с сервером. После этого система клиент-сервер готова к проведению измерений.

После запуска программы "VNA Client" на экране ПК появляется инструментальная панель (TOOLBAR), которая состоит из пяти независимых групп средств управления: 1. Стандарт (Standart). 2. Средства просмотра (Viewer). 3. Значения (Value). 4. Маркер (Marker). 5. Настройка (Adjustment).

Группа средств управления СТАНДАРТ содержит кнопки (окна), представленные на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид панели управления СТАНДАРТ

Процесс измерений включает в себя три этапа: SETUP (УСТАНОВКА), CALIBRATION (КАЛИБРОВКА) и MEASUREMENT (ИЗМЕРЕНИЕ). При активизации на инструментальной панели кнопки 1. УСТАНОВКА на экране появится окно, позволяющее устанавливать необходимый режим измерений и тип математической обработки. После активизации кнопки 2. КАЛИБРОВКА вводятся значения нижней и верхней граничных частот требуемого диапазона измерений. После этого на экран выводятся сообщения с инструкциями по калибровке измерителя VNA25-37 с помощью собственного калибровочного комплекта. После выполнения всех операций в УСТАНОВКЕ и КАЛИБРОВКЕ появляется возможность доступа к окну 3. ИЗМЕРЕНИЕ для выбора вида проводимых измерений и с инструкциями по подключению объекта измерения к измерителю VNA25-37.

При активизации кнопки 4. PRINT (ПЕЧАТЬ) можно вывести на печать результаты измерений в виде графиков или таблиц.

Активизация кнопки 5. VALUES BROWSER (ПРОСМОТР ЗНАЧЕНИЙ) предоставляет возможность просмотреть значения промежуточных результатов измерения или калибровки (значения сигналов, снимаемых с балансных смесителей, значения реальной и мнимой составляющих измеряемых S-параметров, результаты измерений в табличной форме и т.д.).

При активизации кнопки 6. SAVE (СОХРАНИТЬ) в память ПК можно занести результаты измерений в графическом виде, которые будут записаны в отдельный файл. То же самое позволяет сделать выбор окна с ярлыком 7. SAVE SPECIAL (СОХРАНИТЬ СПЕЦИАЛЬНОЙ). Однако в этом случае в память запишутся результаты измерения в виде таблиц. Указанные файлы хранятся в памяти ПК, а для просмотра их содержимого используется окно с ярлыком 8. OPEN (ОТКРЫТЬ). При необходимости создания нового файла используется окно с ярлыком 9. NEW (НОВЫЙ).

Окно с ярлыком 10. ABOUT (ОТНОСИТЕЛЬНО) позволяет получить краткую информацию об измерителе VNA25-37 и его производителе.

Порядок работы при выборе кнопок 4...10 подробно описаны в справке (HELP).

Группа средств управления Viewer (СРЕДСТВО ПРОСМОТРА) содержит кнопки (окна), приведенные на рис. 4, и представлены в инструментальной панели для работы с графическим представлением S-параметров.



Рис. 4. Внешний вид панели управления СРЕДСТВО ПРОСМОТРА

Окна с ярлыками 2.1 и 2.2 позволяют задать пределы для графического представления частотных характеристик результатов измерения  $|S_{ij}|$  в декартовых координатах. Окно 2.1 — верхнюю часть оси: от 0 дБ до +30 дБ. Окно 2.2 — нижнюю часть оси: от 0 дБ до минус 60 дБ. Используя эти окна можно установить любой предел из ряда: 0, 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60.

Кнопка 2.3 LABELS (МЕТКИ) позволяет устанавливать на графиках с помощью двойного щелчка левой кнопки "мыши" от 1 до 10 меток.

При активизации кнопки 2.5 REPEAT (ПОВТОРЕНИЕ) в звуковом варианте на английском языке воспроизводится информация о значениях S-параметров в точке, на которую установлен маркер в виде сплошной вертикальной линии.

Используя кнопку с ярлыком 2.6 MARKER SETTINGS (ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ МАРКЕРА), можно выбрать тип маркера:

- сплошная вертикальная линия (перемещается с помощью левой кнопки "мыши");
- треугольник в верхней части графического символа. Он перемещается только с помощью стрелок из группы МАРКЕР.

С помощью кнопки с ярлыком 2.7 PHASE VIEW (ПРОСМОТР ФАЗЫ) на графиках можно устанавливать масштаб от 0° до 360° или от -180° до +180°.

Кнопка с ярлыком 2.8 FILTRATION (ФИЛЬТРАЦИЯ) позволяет включить или выключить режим фильтрации при проведении измерений.

Группа средств отображения результатов измерения S-параметров VALUE (ЗНАЧЕНИЯ) позволяет отобразить результаты измерения для частотной точки, на которую установлен маркер (сплошная вертикальная линия или треугольник). Эти результаты отображаются в окнах слева от графиков измеренных S-параметров. Причем для  $S_{11}$ ,  $S_{22}$  выводятся модули  $|S_{11}|$  и  $|S_{22}|$  в дБ,  $\arg S_{11}$  и  $\arg S_{22}$  в градусах, а также значение КСВН (VSWR). Для  $S_{21}$  и  $S_{12}$  выводятся модули  $|S_{21}|$  и  $|S_{12}|$  в дБ,  $\arg S_{21}$  и  $\arg S_{12}$  в градусах.

В нижней части экрана с заголовком MARKER (МАРКЕР) в окошке приводится значение частоты общей для всех графиков, на которую установлен маркер.

Группа средств управления MARKER (МАРКЕР) включает в себя стрелки направления движения маркера по графикам. Внешний вид панели управления МАРКЕР представлен на рис. 5.



Рис. 5. Внешний вид панели управления МАРКЕР

Группа средств управления ADJUSTMENT (НАСТРОЙКА) используется только при выборе режима измерения НАСТРОЙКА. В этом режиме с каждым новым циклом перестройки частоты ГКЧ производится измерение выбранных S-параметров и результаты измерений после каждого цикла выводятся на экран. Если выбран этот режим, то станут активизированными следующие пять кнопок (ОКОН), представленные на рис. 6, в верхнем правом ряду инструментальной панели для работы с графическим представлением S-параметров.

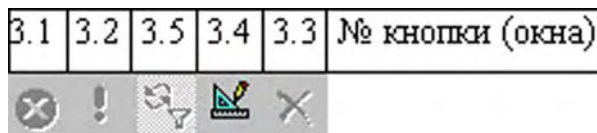


Рис. 6. Внешний вид панели управления НАСТРОЙКА

Кнопка с ярлыком 3.1. позволяет остановить процесс измерений, после завершения текущего цикла.

Кнопка с ярлыком 3.2. позволяет вновь запустить процесс измерений после остановки.

Кнопка с ярлыком 3.3. позволяет установить на графиках две любые горизонтальные границы значений S-параметров на всех графиках (максимальный диапазон ограничения от -60 дБ до +30 дБ).

При измерении параметров ОИ добиваются, чтобы его S-параметры находились пределах установленных границ.

Кнопка с ярлыком 3.4. позволяет удалить ранее установленные границы значений S-параметров.

Кнопка с ярлыком 3.5. позволяет включить или выключить режим математической обработки результатов измерений.

Внизу экрана под графиками размещается строка состояния, на которой указываются установленные начальные и конечные частоты перестройки ГКЧ (рис. 7).



Рис. 7. Внешний вид строки состояния

Программное обеспечение анализатора содержит также "Меню", которое дублирует возможности графической инструментальной панели, и позволяет наиболее полно изменять параметры средств управления инструментальной панели (TOOLBAR), осуществлять взаимодействие с операционной системой и доступной периферией.

### **Проблемы, решаемые при внедрении дистанционной калибровки**

Одной из проблем, решаемых при внедрении дистанционной калибровки в аккредитованных лабораториях, является соответствие требованиям [6]. Должна наблюдаться прослеживаемость к признанным национальным эталонам, проводиться контроль и фиксация условий окружающей среды, обеспечиваться проверка функционирования калибруемого СИ, защита передаваемой измерительной информации.

Дистанционный контроль условий окружающей среды может осуществляться с помощью термогигрометров с цифровым выходом и возможностью подключения к ПК.

Проверка функционирования калибруемого СИ осуществляется при проведении последовательности тестов, после проведения самодиагностики информация о состоянии аппаратных средств передается на ПК МС. Дополнительно может осуществляться визуальный контроль проводимых работ с помощью видеокамеры, однако это предъявляет более высокие требования к качеству связи и скорости передачи информации.

Актуальным является вопрос защиты информации от искажения, неавторизованного доступа, исключения взаимного влияния приложений друг на друга. Требования, предъявляемые к ПО с измерительными функциями, устанавливаются в [7]. ПО, используемое при проведении дистанционной калибровки, должно быть разработано таким образом, чтобы его функции не были подвержены влиянию другого ПО, параллельно работающего или обеспечивающе-

го его функционирование, а также должно иметь функции защиты от несанкционированного воздействия через программные интерфейсы или аппаратные интерфейсы СИ.

Аттестация ПО предполагает исследование исходного кода ПО, в части тех его модулей, которые отвечают за прием, обработку и передачу измерительной информации; тестирование на предмет правильности выполнения обработки с определением погрешности алгоритма; идентификация ПО [8].

При аттестации ПО рассматривают три степени его защиты: низкую, среднюю и высокую. Низкий уровень защиты предполагается у ПО, не имеющего защиты от неумышленных или намеренных изменений. Средний уровень защиты предполагает защиту законодательно контролируемого ПО от неумышленных и намеренных изменений с использованием общедоступных программных средств. Высокий уровень защиты — это законодательно контролируемое ПО, защищенное от неумышленных и намеренных изменений с использованием специальных сложных программных средств.

### Заключение

Реализация дистанционной калибровки СИ возникает как решение проблем, связанных с перевозкой, временными затратами и дороговизной существующих систем калибровки, но широкое и эффективное внедрение данного метода зависит от признания результатов такой метрологической услуги и выдвигает новые требования как к СИ, так и к методам и средствам обработки результатов измерений.

## REMOTE CALIBRATION OF MEASUREMENTS MEANS

T.K. TALOCHKA, A.V. GUSINSKI, A.M. KOSTRIKIN

### Abstract

The method of carrying out of remote calibration of means of measurements through the Internet is presented, questions of introduction of the given method in the accredited laboratories are considered.

### Литература

1. *O'Dowd R., Maxwell D., Ferrel T., Dunne J.* // Proc. of 4<sup>th</sup> Optical Fibre Measurement Conference. October 1997. P. 155–158/
2. *Dudley R., Ridler N.* // Proc. of 18<sup>th</sup> IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, Budapest, Hungary. May 21–23, 2001.
3. *Гусинский А.В., Кострикин А.М., Дзисяк А.Б. и др.* // Метрология и приборостроение. 2004. № 1. С. 38–43.
4. *Гусинский А.В., Кострикин А.М., Дерябина М.Ю. и др.* // Материалы XVI МНТК "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии", Севастополь, Крым, Украина. Сентябрь 2006. С. 807–808.
5. *Галыго А.В., Гусинский А.В., Кострикин А.М. и др.* // Метрология и измерительная техника: Сб. науч. тр. конф. Т. 1. 2006. С. 247–255.
6. СТБ ИСО/МЭК 17025. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
7. СТБ П 8027-2006 СОЕИ РБ. Программное обеспечение средств измерений. Общие технические требования.
8. *Шабанов М.В.* // Метрология и метрологическое обеспечение: Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2007. С. 188–190.