

621.317.08

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА ДИСТАНЦИОННОЙ КАЛИБРОВКИ В АККРЕДИТОВАННЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ

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

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

Поступила в редакцию 10 декабря 2009

Предложен метод дистанционной калибровки автоматизированных радиоизмерительных приборов сверхвысоких частот, приведена структурная схема и алгоритм проведения дистанционной калибровки. Рассматриваются организационно-технические мероприятия, реализация которых необходима при внедрении метода в аккредитованных лабораториях, предложен способ применения транспортабельных эталонных средств измерений и получения результатов дистанционной калибровки.

Ключевые слова: дистанционная калибровка, транспортабельные эталоны, прослеживаемость измерений.

Введение

Наряду с автоматизацией метрологических работ основной задачей в области прикладной метрологии является организация исследования метрологических характеристик (МХ) средств измерений (СИ) на местах их применения, т.е. без перевозки их в метрологические организации. Современные СИ имеют возможность управления от внешнего компьютера и возможность передачи измерительной информации через внешнюю сеть на любые расстояния, что позволяет проводить калибровку таких СИ дистанционно.

При внедрении таких технологий в метрологию исследуются новые методы прослеживания, проводится международная аккредитация с использованием результатов дистанционной калибровки, легализация программного обеспечения.

В данной статье предложены метод дистанционной калибровки автоматизированных радиоизмерительных приборов сверхвысоких частот (СВЧ) на местах их применения, способ применения транспортабельных эталонных СИ (ТЭСИ), сформулированы требования, предъявляемые к аккредитованным лабораториям, осуществляющим дистанционную калибровку.

Теоретический анализ

Для реализации метода дистанционной калибровки к его техническим компонентам предъявляются требования по информационной и метрологической совместимости, требования к структуре программных компонентов.

Требования по информационной совместимости технических компонентов метода подразумевают установление единого вида и количества сигналов, системы кодирования, временной диаграммы сигналов, величин напряжений для аналоговых и двоичных сигналов, нагрузочных сопротивлений и т.д.

Схема дистанционной калибровки должна объединять все измерительные средства: калибруемое СИ, средства калибровки. Совместная работа измерительных средств обеспечивается стандартным интерфейсом, под которым понимают как средства сопряжения отдельных приборов, так и правила обмена информацией между ними, перечень команд, виды и параметры сигналов, несущих как служебную, так и измерительную информацию.

Наиболее простой и быстрый способ создания измерительных схем для проведения дистанционной калибровки — создание на базе широко используемых компьютеров типа IBM PC, стандартного интерфейса МЭК 625-1 и стандартных измерительных приборов с КОП.

Трудность создания таких измерительных комплексов заключается в том, что требуется разработка программ управления. Однако для большинства современных СИ уже разработаны необходимые интерфейсные модули и ПО для сопряжения с ЭВМ и дистанционного управления по стандартным линиям связи.

Требования по метрологической совместимости технических компонентов метода подразумевают соответствие пределов измерений, диапазонов частот и т.п., а также необходимый запас точности эталонных СИ по отношению к калибруемым СИ.

В качестве эталонных СИ при проведении дистанционной калибровки целесообразно использовать ТЭСИ (транспортательные меры сравнения, эталоны-переносчики). Основные требования, предъявляемые к ТЭСИ: стабильность во времени, устойчивость к внешним воздействиям, надежность, простота конструкции, транспортательность.

В настоящее время уже имеется достаточно большое количество ТЭСИ для калибровки радиоизмерительных приборов СВЧ на местах их применения [2, 3]. Такие ТЭСИ полностью метрологически совместимы как с эталонами, так и с типовыми СИ, вспомогательным оборудованием, используемым при калибровке СИ и обладают высокими техническими параметрами (надежность, малые массогабаритные характеристики и т.п.) и метрологическими параметрами (например, "сохранность" МХ ТЭСИ после их транспортировки).

Обобщенные сведения о разработанных ТЭСИ диапазона СВЧ приведены в таблице.

Обобщенные сведения по отдельным эталонам, оснащенным ТЭСИ

Эталон единицы физических величин, оснащенный ТЭСИ	СИ, поверяемые или калибруемые на месте применения	Тип ТЭСИ
Мощности электромагнитных колебаний в волноводных и коаксиальных трактах	Калибраторы мощности; Термисторные преобразователи; Преобразователи мощности; Измерители поглощаемой мощности	Преобразователи поглощаемой и проходящей мощности Tegam M1130, M1135, F1130, F1135, F1109H, Agilent E9301B; M5-..., Я2М- ..., M1-...
Ослабления электромагнитных колебаний	Установки для поверки аттенюаторов, измерители КСВН, измерители комплексных коэффициентов передачи и отражения (ИККПО)	Д1-13, Д1-13А, Д5-..., Д3-...
Волнового сопротивления	Измерители КСВН, ИККПО	ЭК9-..., Э9-..., меры фазового сдвига (МФС)

Для дистанционной калибровки ИККПО в качестве ТЭСИ могут использоваться меры КСВН и полного сопротивления, аттенюаторы. Для измерения фазовых параметров используются отрезки коаксиальных линий, которые выполняются без опор для получения минимального собственного КСВ, а длина их выбирается такой, чтобы обеспечить измерение фазы в пределах не менее 180° во всем диапазоне частот прибора. Для калибровки ИККПО I класса точности должны использоваться меры КСВН, расширенная неопределенность измерений которых не более $\pm 1\%$ для нагрузок с номинальным значением $КСВН \leq 1,4$ и не более $\pm 2\%$ для нагрузок с номинальным значением $КСВН \geq 2,0$. Расширенная неопределенность измерений мер ослабления не более 0,15 дБ. Расширенная неопределенность воспроизведения фазовых сдвигов не должна превышать $\pm 1,0$ град для мер с номинальным значением $КСВН \geq 2,0 \pm 1,5$ град для мер с номинальным значением $КСВН = 1,4 \pm 2,0\%$ для мер с номинальным значением $КСВН = 1,2$. Все меры, применяемые для калибровки ИККПО, отвечают требованиям, предъявляемым к ТЭСИ.

К измерителям, в которых уже реализована функция управления по стандартным линиям связи, относятся ИККПО, измерители КСВН серии PNA, PNA-L, производитель Agilent, ИККПО серии ZVB, ZVT8, производитель Rohde&Schwarz, измерители КСВН P2M- и ИККПО P4M-, производитель "Микран" (Россия) и др. Также данная функция реализована в измерителях КСВН SNA0.01-18, SNA17-25, SNA25-37 и ИККПО VNA25-37, VNA37-53, VNA53-78, VNA78-118, VNA118-178, разрабатываемых и изготавливаемых в лаборатории аппаратуры и устройств СВЧ БГУИР.

Для дистанционной калибровки измерителей мощности в качестве ТЭСИ может служить первичный измерительный преобразователь поглощаемой или проходящей мощности.

Калибровка измерителей поглощаемой мощности осуществляется в два этапа: определение КСВН входа измерительного преобразователя и определение частотных коэффициентов и погрешности измерения мощности.

Для определения КСВН входа измерительного преобразователя используются автоматизированные измерители КСВН и ИККПО. Для определения КСВН входа измерителей мощности класса точности 2,5 и 4 должны использоваться ИККПО I класса точности, для определения КСВН входа измерителей мощности класса точности 6, 10, 15, 25 должны использоваться ИККПО II класса точности.

Для определения частотных коэффициентов и погрешности измерения мощности в качестве вспомогательных СИ используются генераторы СВЧ сигналов и измерительные блоки измерителей мощности, подключаемые к ЭВМ и управляемые по стандартным линиям связи.

Генераторы должны обеспечивать установку частоты с погрешностью не более $0,5 \cdot 10^{-4}$ класса точности калибруемого измерителя мощности, нестабильность частоты за время установления показаний калибруемого и эталонного измерителей мощности должна быть не более $0,5 \cdot 10^{-4}$ класса точности калибруемого измерителя мощности, нестабильность уровня мощности за время установления показаний калибруемого и эталонного измерителей мощности должна быть не более 1/3 расширенной неопределенности эталонного измерителя мощности.

Расширенная неопределенность измерений эталонного измерителя мощности (в составе измерительного преобразователя и измерительного блока) должна быть в 2–3 раза меньше класса точности калибруемого измерителя мощности.

Функция управления по стандартным линиям связи реализована в генераторах СВЧ N9310A, N5181A (Agilent), SMB100A, SMA100A, SMF100A, SMU200A (Rohde&Schwarz), SG8-12, SG78-118, Г4-217, SSG25-37, SSG37-53 (лаборатория аппаратуры и устройств СВЧ БГУИР) и др. и измерительных блоках N1911A, N1912A (Agilent), NRP (Rohde&Schwarz), PM0.01-37.5 (лаборатория аппаратуры и устройств СВЧ БГУИР) и др.

Для дистанционной калибровки частотомеров электронно-счетных для определения погрешности частоты опорного генератора вместо стандартов частоты могут использоваться приемники-компараторы, принимающие сигналы эталонных частот, передаваемых радиостанциями длинных волн (ЧК7-49, относительная погрешность сличения частот $\pm 1 \cdot 10^{-12}$ за 24 ч) или сигналы спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS (ЧК7-54, относительная погрешность по частоте выходных сигналов в режиме слежения за космическими аппаратами ГЛОНАСС/GPS $\pm 2 \cdot 10^{-12}$).

Для определения погрешности из-за дискретности счета используются синтезаторы частот с нестабильностью частоты не более $\pm 5 \cdot 10^{-7}$.

Требования к структуре программных компонентов. Для организации взаимодействия ЭВМ с измерительными приборами для проведения дистанционной калибровки необходимо решить следующие задачи: программирование приборов, входящих в измерительную схему, организация обмена данными между приборами, преобразование форматов измеренных данных, вывод результатов измерений в требуемом виде.

ПО должно обеспечивать управление процессом калибровки, измерения параметров калибруемого СИ, получение, математическую обработку и отображение результатов измерений.

Интерактивный интерфейс пользователя должен перестраиваться в процессе работы для адаптации к конкретным условиям эксперимента. В зависимости от ПО пользователь получает измерительный прибор или измерительную схему под ту или иную метрологическую задачу.

Методика проведения дистанционной калибровки

Таким образом, метод дистанционной калибровки [4] может рассматриваться в виде трех основных компонентов — калибруемое СИ, средства калибровки, включающие в себя эталонные и вспомогательные СИ, специализированное ПО.

Разработанная нами система дистанционной калибровки автоматизированных радиоизмерительных приборов СВЧ (далее — система) имеет вид, приведенный на рис. 1.

Система объединяет измерительные средства и ПО, обеспечивающее совместную работу и дистанционное управление СИ. Система предназначена для выполнения таких функций, как выработка и подача на вход калибруемого СИ эталонных сигналов; наблюдение за реакцией калибруемого СИ; дистанционное управление процессом измерений и воздействием на калибруемое СИ; обработка результатов измерений; представление результатов измерений в требуемом виде. Для этого система должна обеспечивать соединение между ЭВМ калибровочной лаборатории (КЛ) и ЭВМ удаленной лаборатории, выработку нормированных сигналов для воздействия на калибруемое СИ, дистанционное управление СИ и другими техническими компонентами, входящими в состав системы, передачу измерительной информации на ЭВМ КЛ, обработку результатов измерений, гибкость и перестраиваемость в соответствии с новыми задачами.

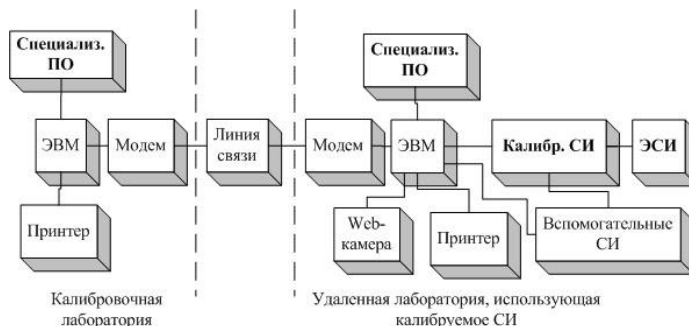


Рис. 1. Система дистанционной калибровки автоматизированных радиоизмерительных приборов СВЧ

Техническая часть системы содержит исследуемые средства измерений диапазона СВЧ, эталонные и вспомогательные СИ, средства вычислительной техники, средства ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов. Программная часть содержит системное и дополнительное специализированное прикладное программное обеспечение.

Алгоритм проведения дистанционной калибровки приведен на рис. 2.

Удаленная лаборатория, использующая автоматизированное радиоизмерительное СИ и нуждающаяся в его калибровке оформляет заявку в КЛ. Из КЛ в удаленную лабораторию пересылаются необходимые эталонные СИ. На ЭВМ КЛ и ЭВМ калибруемого СИ устанавливается специализированное ПО. В условленное время между ЭВМ устанавливается соединение.

При подготовке к измерениям проводится опробование исследуемого СИ, которое может осуществляться последовательностью тестов, после проведения самодиагностики информация о состоянии калибруемого СИ передается на ЭВМ КЛ. Выбирается исследуемый параметр, метод измерений, тип математической обработки и тип применяемого эталонного СИ. На ЭВМ удаленной лаборатории отправляется команда подключения эталонных и вспомогательных СИ в измерительную схему в соответствии с инструкциями КЛ. Сотрудник удаленной лаборатории собирает измерительную схему в соответствии с инструкциями КЛ.

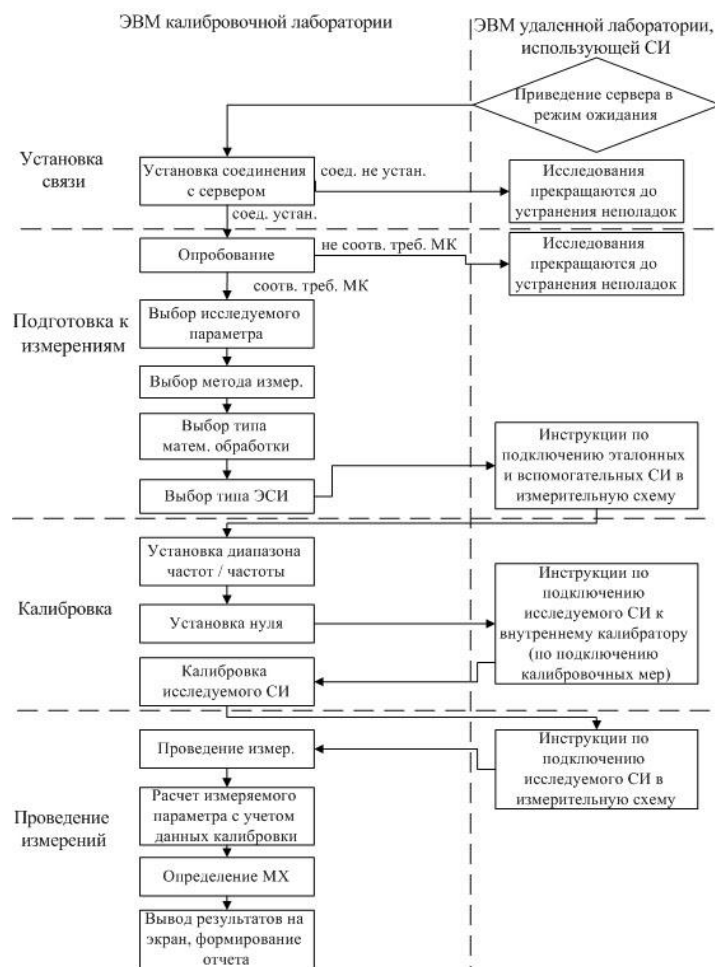


Рис. 2. Алгоритм проведения дистанционной калибровки

На этапе калибровки СИ устанавливается частота или диапазон частот, на которых будет производиться калибровка. При отключенной мощности входного сигнала источника осуществляется установка нуля. На ЭВМ удаленной лаборатории отправляется команда подключения исследуемого СИ к внутреннему калибратору (или команда подключения калибровочных мер) с подробными инструкциями. Проводится калибровка исследуемого СИ.

Проведение измерений. На ЭВМ удаленной лаборатории отправляется команда подключения исследуемого СИ в измерительную схему. Проводятся измерения, осуществляется расчет измеряемого параметра с учетом данных калибровки. По полученным данным оценивается неопределенность измерений. Результаты выводятся на экран, формируется протокол, оформляется свидетельство с результатами, отправляется в лабораторию заказчика.

Эффективное внедрение метода дистанционной калибровки зависит от признания результатов такой метрологической услуги. При внедрении метода дистанционной калибровки в аккредитованных лабораториях должны быть разработаны процедуры, определяющие доверие к результатам проводимых работ.

Сотрудники, участвующие в проведении дистанционной калибровки, как со стороны КЛ, так и со стороны заказчика (дополнительный технический персонал) должны иметь квалификацию "поверителя" и проходить обучение на право проведения дистанционной калибровки. Дополнительным техническим персоналом, нанятым по договору, могут осуществляться такие операции, как проведение внешнего осмотра, подключение калибруемого и эталонного оборудования в соответствии со схемами калибровки.

Для контроля условий окружающей среды (температуры, влажности, атмосферного давления) предусматривается внедрение веб-ориентированных мониторинговых систем.

Точность и достоверность результатов дистанционной калибровки СИ с применением ТЭСИ гарантируется специальными организационно-техническими мероприятиями. Схема получения результатов дистанционной калибровки приведена на рис. 3.

Оценка калибровочных характеристик ТЭСИ производится до их транспортировки к месту эксплуатации калибруемого СИ (калибровочная характеристика ТЭСИ) и после их возвращения в КЛ (калибровочная характеристика ТЭСИ').

В КЛ с помощью методов дисперсионного анализа оценивается наиболее достоверная калибровочная характеристика и при необходимости в результат калибровки СИ вносятся поправки.

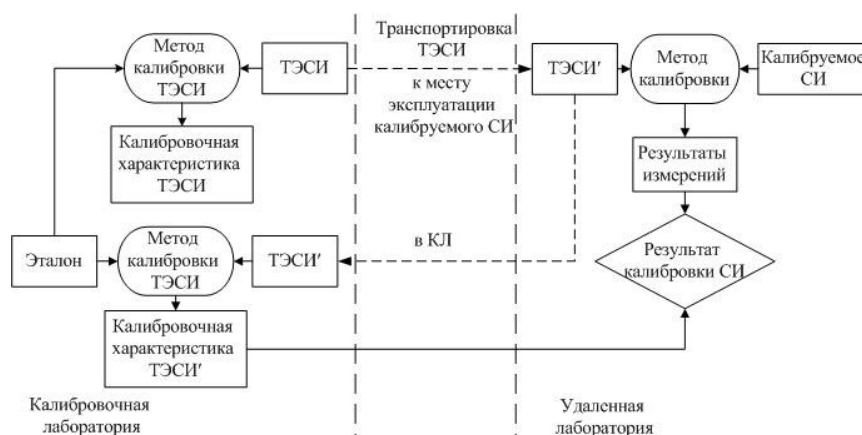


Рис. 3. Схема применения ТЭСИ и получения результатов дистанционной калибровки СИ

Результаты и их обсуждение

Материально-технической основой метода дистанционной калибровки являются ТЭСИ, транспортируемые к месту эксплуатации исследуемых СИ. В настоящее время требованиям, предъявляемым к ТЭСИ, отвечают меры КСВН и полного сопротивления, меры ослабления, меры фазового сдвига, измерительные преобразователи поглощаемой и проходящей мощности.

Программные компоненты метода должны содержать ПО, обеспечивающее дистанционное управление процессом калибровки, измерения параметров исследуемого объекта, получения результатов измерений, их математической обработки и отображения результатов измерений в требуемом виде.

Метод дистанционной калибровки может рассматриваться в виде трех основных компонентов — калибруемое СИ, средства калибровки, включающие в себя эталонные и вспомогательные СИ, специализированное ПО, объединенных в систему дистанционной калибровки. Система должна выполнять такие функции как выработка и подача на вход калибруемого СИ эталонных сигналов с помощью средств калибровки, дистанционное управление процессом измерений и воздействием на калибруемое СИ.

В аккредитованной лаборатории, осуществляющей дистанционную калибровку, должны быть разработаны процедуры, определяющие доверие к результатам проводимых работ (должны предусматриваться методы контроля условий окружающей среды, обучения персонала, передачи калибровочных характеристик ТЭСИ и т.п.).

Процедура применения ТЭСИ и оценки наиболее достоверной калибровочной характеристики ТЭСИ позволит исключить источник неопределенности измерений из-за ухода параметров ТЭСИ при транспортировке.

Заключение

Внедрение метода дистанционной калибровки позволит проводить калибровку автоматизированных радиоизмерительных приборов СВЧ на местах их эксплуатации без выезда сотрудника КЛ, сократит время и стоимость калибровки, повысит производительность труда, облегчит реализацию мероприятий, обеспечивающих качество метрологических работ, таких как анализ достоверности результатов измерений по методам и методикам калибровки, участие в программах межлабораторных сличений.

WORKING OUT AND INTRODUCTION OF THE METHOD OF REMOTE CALIBRATION IN THE ACCREDITED LABORATORIES

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

Abstract

The method of remote calibration of the automated radio measuring devices of ultrahigh frequencies is offered, the block diagramme and algorithm of carrying out of remote calibration is resulted, requirements to the basic technical and program components of a method are formulated. The organizational-technical actions which realization is necessary at method introduction in the accredited laboratories are considered, the way of application of transportable reference measuring apparatuses and reception of results of remote calibration is offered.

Литература

1. *Дворяшин Б. В.* Основы метрологии и радиоизмерения: Уч. пос. для вузов. М., 1993.
2. *Галыго А.В., Гусинский А.В., Кострикин А.М. и др.* // Метрология и измерительная техника. Сб. науч. трудов конференции. Харьков, 2006. Т. 1. С. 247–255.
3. Исследования эталонов сравнения в области радиотехнических измерений. Сб. науч. трудов. М., ВНИИФТРИ. 1982.
4. *Гусинский А.В., Кострикин А.М., Толочко Т.К.* Патент Республики Беларусь № 12574. 2009.