

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.317

Горовенко
Сергей Александрович

Измерительная система для контроля параметров устройств связи в диапазоне
частот от 10 Гц до 500 кГц

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-38 80 01 «Приборостроение, метрология и
информационно-измерительные приборы и системы»

Научный руководитель
Ревин Валерий Тихонович
кандидат технических наук
доцент

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует огромное количество различных систем беспроводной связи, таких как системы стандартов GSM, IEEE 802.11, IEEE 802.16, UWB, HSPA, LTE, работающих в лицензированных и нелицензированных диапазонах частот. Из-за постоянного роста числа используемых беспроводных устройств и развития технологий беспроводной связи требуется выделение дополнительных частотных диапазонов. Из-за ограниченности частотного ресурса возникает все больше трудностей с выделением частот, а значит, эффективность существующей политики лицензирования спектра резко уменьшится. Эта проблема может быть решена за счет использования новой технологии доступа к лицензированным полосам частот, в которых работают существующие пользователи (лицензированные пользователи). Эта технология носит название динамического доступа к спектру. Технология динамического доступа к спектру лежит в основе систем когнитивного радио, и дает возможность нелицензированным пользователям получить доступ к частотному ресурсу наравне с лицензированными пользователями новыми методами.

В настоящее время идея максимально полного использования радиочастотного спектра получила развитие в направлении, называемом «когнитивные системы связи». Основная идея когнитивных систем связи (КСС) заключается в том, чтобы обеспечить альтернативный доступ к временно и (или) географически неиспользуемым лицензированным частотным полосам, избегая конфликтов с законными владельцами лицензий в этих полосах, называемыми первичными пользователями.

Для достижения этого требуются новые алгоритмы управления помеховой обстановкой, которые должны ограничить интерференцию для первичных пользователей. Отличительной особенностью когнитивных систем связи является то, что один из двух элементов системы – передатчик или приемник – изменяет свои параметры с целью повышения эффективности соединения и во избежание взаимных помех первичных и вторичных пользователей. Когнитивные системы связи способны принимать и передавать сигнал на адаптивно изменяемых радиочастотах, а также изменять вид модуляции, способ кодирования и другие параметры, обеспечивающие требуемое качество связи.

Приемные и передающие модули с преобразованием частоты являются ключевыми компонентами когнитивных систем связи, которые особенно часто используются в системах скрытой передачи сообщений. Такие системы особенно актуальны в использовании для различных силовых структур, где утечка передаваемой информации может нанести вред безопасности государства.

В настоящий момент в основе большинства приемо-передающих радиосредств лежат схемы с супергетеродинным приемником, в которых осуществляется перенос спектра на промежуточные частоты. Это преобразование позволяет спроектировать фильтр со стабильными, необходимыми параметрами и обеспечить нужную селективность. В основе любой схемы преобразования частоты лежит смеситель.

Под смесителем понимают СВЧ устройство, выполненное в виде единого неразъемного модуля – устройства с преобразованием частоты, состоящего из собственно смесителя с присоединенными к нему узлами типа фильтров, делителей сигналов, усилителей СВЧ и ПЧ, ферритовых вентилях и циркуляторов. Поэтому при разработке, создании и промышленном выпуске радиоэлектронных средств (РЭС), содержащих СВЧ устройство с преобразованием частоты (смеситель), необходимо иметь приборы, позволяющие эффективно измерять и контролировать их основные электрические параметры такие, как модуль, и особенно фазу коэффициентов передачи в диапазоне рабочих частот, т. е. их АЧХ и ФЧХ, а также потери на преобразование и перекрестные помехи. В этой связи необходимо отметить, что панорамные испытания СВЧ устройств, содержащих преобразователь частоты, позволяют снизить трудозатраты при их разработке, регулировке и настройке в сотни раз.

В настоящее время существует большая номенклатура средств измерений, позволяющих производить подобные измерения, например: анализаторы цепей серии *ENA* (производства *Agilent Technologies*) или серии *ZVA* (производства *Rohde&Schwarz*), а также модульные системы на базе *VXI* и *PXI* платформ. Последние позволяют легко решать различные задачи, начиная от простой регистрации данных (физических и электрических параметров) до создания высокопроизводительных измерительных и испытательных комплексов, промышленной автоматизации, встроенного управления и мониторинга. Однако уже имеющаяся большая номенклатура средств измерений и высокая стоимость описанных выше решений, сдерживает их повсеместное распространение. Желание воспользоваться большинством преимуществ модульных систем, при минимальных финансовых затратах и использовании уже имеющегося измерительного оборудования, приводит к разработке измерительной системы на базе персонального компьютера (ПК) или измерительно-вычислительного комплекса для решения поставленных задач. Такие измерительные системы часто называют измерительно-вычислительными комплексами.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В настоящее время наблюдается стремительное развитие радиосистем передачи данных. Постоянно растущие требования к скорости и объему передаваемой информации склоняют разработчиков таких систем к использованию широкополосных каналов связи. Одновременно с этим растет потребность более эффективно использовать радиочастотный спектр для обеспечения возможности доступа к информационным ресурсам новых пользователей.

Однако полосы радиочастот, в которых способны работать современные мобильные телекоммуникационные системы являются конечным ресурсом. Как показывают проведенные исследования [21], использование этого ресурса эффективно не на всех доступных частотах. Один из подходов к решению данной проблемы вылился в концепцию когнитивного радио.

Отличительной особенностью систем КР является их способность обнаруживать и динамически использовать свободные диапазоны радиочастот для доступа абонентов к сети КР. Такая возможность осуществляется посредством автономного мониторинга радиоспектра во всем рабочем диапазоне радиочастот, который может составлять от единиц МГц до нескольких ГГц и зависит от стандарта, использующего когнитивные функции.

На современном этапе развития широко применяются радиосистемы с применением программной псевдослучайной перестройкой рабочей частоты и технологии расширения спектра. Измерение параметров данных систем позволит как провести оценку эффективности применения радиосредств, так и сформулировать рекомендации по их применению.

Таким образом, в настоящее время является актуальной задача создания устройств обнаружения радиосигналов, для решения задачи мониторинга спектра в КР в широком диапазоне частот.

Целью работы является разработка измерительной системы, обоснование ее принципа действия и методики проведения измерений параметров средств связи.

Для достижения цели в работе поставлены и решены следующие задачи:

- анализ методов измерения параметров средств связи;
- анализ и обоснование основных требований к измерительной системе;
- выбор средств измерений, позволяющих выполнить сформулированные требования к измерительной системе;
- разработка структурной схемы измерительной системы;
- описание архитектуры измерительной системы, на которой основано управление средствами измерений через ПК;

- разработка алгоритм функционирования ПО измерительной системы и реализация его в программном коде на C#;
- разработка методики выполнения измерений параметров средств связи;
- проведение экспериментальных исследований СВЧ смесителя с применением спроектированной измерительной системы.

Объектом исследования являются измерительные системы для измерения параметров средств связи.

Предметом исследования является методы построения измерительных систем и способы их применения для контроля параметров средств связи.

Новизна работы определяется следующими результатами:

- рассмотрена и обоснована возможность применения измерительных систем (в том числе построенных на основе виртуальных приборов) для контроля параметров средств связи;
- разработана структурная схема и ПО измерительной системы;
- разработана методика проведения измерений и проведены экспериментальные измерения параметров смесителя.

Практическая значимость работы определяется рассмотренными способами построения измерительных систем на основе серийно выпускающихся приборов и устройств преобразования сигналов, а также методами выполнения измерений параметров устройств связи заданного диапазона частот с использованием переноса спектра исходного сигнала в область низких частот. А также тем, что разработанное программное обеспечение позволяет автоматизировать процесс измерений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приводятся результаты анализа основных методов измерения параметров средств связи, приведены общие сведения о параметрах устройств связи, раскрыты основные методы измерения этих параметров, подробно расписано измерение потерь преобразования, измерение АЧХ, комплексных коэффициентов передачи и отражения и относительной (абсолютной) групповой задержки.

Обобщенная структурная схема ключевого элемента когнитивной системы связи системы приведена на рисунке 1. Комбинация оборудования NI USRP и LabVIEW для достижения высокой функциональности и гибкости, дает платформу для быстрого прототипирования, включая разработку физического уровня, записи и воспроизведения беспроводного сигнала, радиоэлектронной разведки, валидации алгоритмов и многое другое.

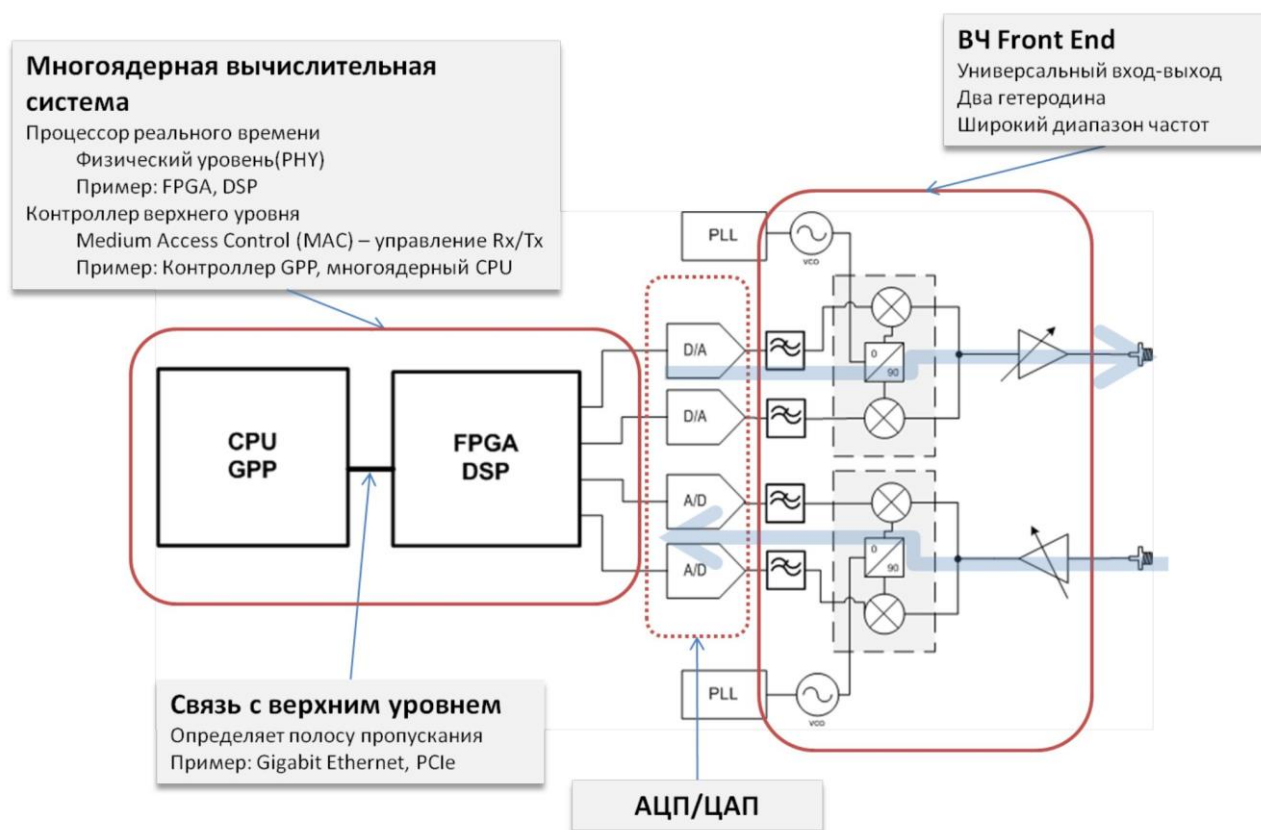


Рисунок 1 – Обобщенная функциональная схема ключевого элемента когнитивной системы связи

Как видно из рисунка 1 одним из основных элементов когнитивной системы связи физического уровня является универсальный блок входа–выхода, представляющий собой, по существу, устройство преобразования частоты вверх в режиме выхода (режим передатчика) и вниз в режиме входа (режим

приемника). Проще говоря данный блок является блоком смесителей, осуществляющих преобразование частоты сигнала, вырабатываемого процессором реального времени вверх и вниз в зависимости от состояния «прием-передача».

Поскольку смесители являются основополагающим элементом в приемопередающих узлах радиоэлектронных устройств, задача измерения их параметров является крайне актуальной.

Рассмотренные в первой главе способов измерения параметров устройств связи, и их анализ, позволит далее сформулировать требования к проектируемой измерительной системе.

Во **второй главе** сформулированы технические требования к измерительной системе:

- диапазон частот входного сигнала 10 Гц – 500 кГц;
- уровень мощности входного сигнала минус 50 – минус 20 дБм;
- обеспечение возможности линейной частотной модуляции входного сигнала ± 120 МГц;
- диапазон частот гетеродинного сигнала 10 Гц – 500 кГц;
- уровень мощности гетеродинного сигнала 5 – 20 дБм;
- диапазон частот выходного сигнала промежуточной частоты 10 Гц – 500 кГц;
- уровень выходной мощности выходного сигнала промежуточной частоты плюс 3 дБ относительно уровня шумов анализатора спектра;
- ИВК должен позволять производить измерение коэффициента передачи (АЧХ) в режимах СВЧ и ПЧ;
- ИВК должен позволять производить измерения коэффициента потерь преобразования.

Далее выбраны основные технические средства, такие как: и генератор сигнала и анализатор спектра, позволяющие добиться сформулированных выше требований к измерительной системе. К ним относятся: генератор *R&S SMB100A* и анализатор спектра *R&S FSP40*. Приведены технические характеристики выбранных устройств.

В **третьей главе** разработана структурная схема измерительной системы, которая представлена на рисунке 2.

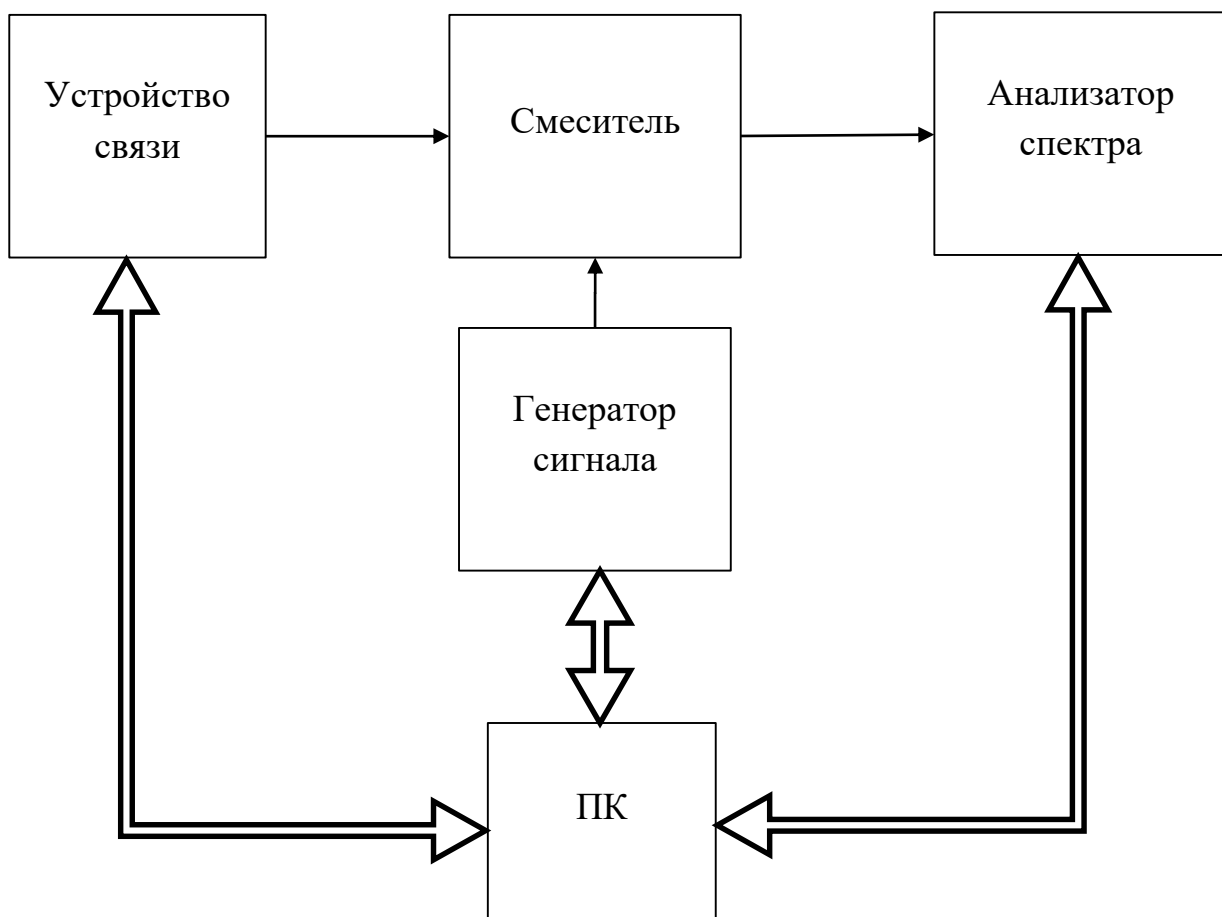


Рисунок 2 – Структурная схема ИС

Основным достоинством структурной схемы является перенос спектра сигнала из области частот в более низкие, до 500 кГц. Этот процесс, с помощью ПК предлагается автоматизировать. Устанавливая рабочую частоту средства связи и генератора сигнала можно добиться нужной нам частоты на выходе смесителя, тем самым позволив анализатору спектра (или другому измерительному прибору) измерять параметры в рабочем диапазоне частот. Приведены алгоритмы работы программного обеспечения, позволяющие снимать различные характеристики устройств, приведены графический интерфейс и основные настройки программы. Указаны интерфейсы сопряжения различных устройств измерительной системы и необходимые драйвера для функционирования информационного обмена.

В **четвертой главе** представлена методика выполнения измерений АЧХ и потерь преобразования средств связи с помощью спроектированной измерительной системы. В частности, в ней раскрыто:

- перечень средств измерений и вспомогательные устройства;
- методы измерений;

требования безопасности;
условия выполнения измерений;
требования к квалификации операторов;
подготовка к выполнению измерений;
выполнение измерений;
обработка результатов измерения;
оформление результатов измерений.

Также в главе раскрыта методика оценивания неопределенности измерения потерь преобразования устройств связи.

В **пятой главе** представлены результаты экспериментальных исследований характеристик двойного балансного СВЧ смесителя *НМС-С049* измеренные спроектированной измерительной системой. Проведено сравнения этих значений со спецификацией на изделие. В приложении к работе приведены численные измеренные значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении магистерской диссертации «Измерительная система для контроля параметров устройств связи в диапазоне частот от 10 Гц до 500 кГц» рассмотрены следующие вопросы:

- проведен анализ методов измерения параметров средств связи;
- проведен анализ и обоснование основных требований к измерительной системе и ИВК;
- выбраны средства измерения позволяющее выполнить сформулированные технические требования;
- проведен выбор структурной схемы измерительной системы;
- описана архитектура измерительной системы, на которой основано управление средствами измерения подключенными к ПК;
- описан алгоритм функционирования ПО измерительной системы, который в последствии был реализован в программном коде, написанном на C#;
- разработана методика выполнения измерений параметров СВЧ смесителей;
- проведены экспериментальные исследования СВЧ смесителя с применением спроектированной измерительной системы.

Разработанная измерительная система позволяет проводить измерения параметры средств связи в автоматизированном режиме. Вместо примененного программного обеспечения возможно применение средств визуального программирования LabVIEW и аппаратные средства преобразования информации компании National Instruments. Измерительная система может найти свое применение как в учебном процессе, так и организациях измеряющих параметры средств связи, где также возможна реализация значительно большего количества виртуальных приборов, разработанных с применением описанных технологий.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Горовенко С. А., Компьютерная измерительная система для оценки параметров радиостанций малой мощности: материалы 54-й Научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР – Минск, 2018 – С. 125-126.

[2] Горовенко С.А., Федоренко В. А., Компьютерная измерительная система для оценки параметров радиостанций малой мощности: материалы XXIII Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» БГАС – Минск, 2018 – С. 91-93.