

Секция ПРИБОРОСТРОЕНИЕ. МЕТРОЛОГИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Автоматизированная система конструкторско-технологической подготовки изделий (АСКТПП)	132
И.И. Макаревич	
Измерение параметров преобразователей частоты СВЧ и КВЧ диапазонов	134
М.А. Косяк, А.П. Белошицкий, А.А. Павлючик	
Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров лазерного излучения	136
В.В. Кравченко	
Пространственная структура электромагнитного поля в измерительной ячейке СВЧ диапазона.....	138
Н.А. Певнева, А.В. Гусинский, А.Л. Гурский	
Цифровые системы передачи по технологиям XDSL	140
В.И. Кириллов, М.В. Власенко	
Повышение эффективности работы цифровых телекоммуникаций с применением фантомной цепи	142
В.И. Кириллов, И.Н. Белянский	
Разработка стандартной модели сценария атаки на информацию, передаваемую в сетях PON.....	144
В.И. Кириллов, Е.А. Коврига	
Измерительное приемное устройство 3-миллиметрового диапазона	146
В.Т. Ревин, Н.М. Наумович, О.А. Муравьев	
Компьютерно-измерительная система для анализа АЧХ и ФЧХ четырехполюсников	148
В.Т. Ревин, Ю.С. Алькевич, В.А. Симоненко	
Измерительный комплекс для определения параметров источников светового излучения	150
Н.В. Машедо, А.П. Белошицкий	
Измерение плотности потока энергии электромагнитного поля в СВЧ и КВЧ диапазонах с применением малогабаритной экранированной камеры	152
М.М. Касперович	
Проверка квалификации лабораторий, проводящих определение параметров оптического волокна	154
М.В. Гайдук	
Диодный измерительный преобразователь мощности СВЧ сигналов диапазона 78,33–118,1 ГГц.....	156
А.Н. Луферов, А.В. Ворошень	
Программная модель панорамного измерителя комплексных коэффициентов передачи и отражения миллиметрового диапазона длин волн.....	158
Д.А. Кондрашов, А.В. Гусинский, А.М. Кострикин, М.С. Свирид	
Разработка широкополосных панорамных измерителей параметров устройств в миллиметровом диапазоне длин волн	160
А.В. Сайков, А.В. Ворошень, С.С. Гурский	

Ваттметр поглощаемой мощности СВЧ диапазона.....	162
О.В. Доницков, А.П. Белошицкий, А.В. Гусинский, А.Н. Луферов, А.В. Ворошень, В.К. Демидович	
Исследование формирования акустических колебаний электромагнитно-акустическим методом	164
А.А. Подолян	
Выбор купольной поворотной IP-видеокамеры для системы видеонаблюдения с помощью комплексной оценки уровня качества изделия	166
А.А. Борейко, В.М. Алефиренко	
Калибровка и проведение измерений флуктуаций в миллиметровом диапазоне	168
А.Я. Бельский, А.В. Гусинский, А.М. Кострикин	
Двухконтурный ГДГ, стабилизированный дисперсионным резонатором	170
А.Я. Бельский	
Принципы построения радиоволнового уровнемера, использующего зондирующий сигнал со сложным законом модуляции	172
В.Е. Самонов, А.В. Гусинский, А.И. Волковец, А.М. Кострикин, Н.М. Слюсарь	
Обработка данных в энергосистемах на основе технологии SMART GRID.....	174
Д.В. Хролович	
Устройство определения продуктов нелинейности в трактах передачи сигналов электросвязи.....	176
Е.К. Карпук, А.А. Пилюшко	
Cavitation in pulsed and continuous ultrasound fields.....	178
N.V. Dezhkunov, A. Francescutto, F. Calligaris, A.V. Kotukhov	

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ИЗДЕЛИЙ (АСКТПП)

И.И. МАКАРЕВИЧ

*ОАО «АГАТ – системы управления» – управляющая компания
холдинга «Геоинформационные системы управления»
пр-т Независимости, 114, г. Минск, 220114, Республика Беларусь
makarevich@agat.by*

Все больше и больше программные продукты заменяют аппаратные средства. Несмотря на стремление производителей электронных изделий максимально использовать программные продукты вместо аппаратных средств, доля вновь разрабатываемого оборудования составляет большую часть изделий. Объем конструкторской документации на одно изделие исчисляется тысячами форматов. Подготовка производства занимает несколько месяцев. Только комплексная автоматизация проектирования и технологической подготовки производства позволяет сократить сроки разработки и изготовления, снизить себестоимость продукции, повысить технический уровень и качество изделий.

Ключевые слова: система автоматизированного проектирования, автоматизированная система технологической подготовки производства, система управления данными проекта.

Сегодня многие предприятия с переменным успехом применяют различные САПР. Зачастую это недорогие системы проектирования, с помощью которых решают лишь локальные задачи, используя их в качестве «электронных кульманов» и средств систематизации инженерной документации. Экономическая отдача от таких САПР невелика, они не освобождают конструкторов и технологов от рутинного труда, не обеспечивают существенного повышения качества выпускаемой продукции и сокращения сроков освоения новых изделий. Существенно сократить сроки конструкторского и технологического проектирования, повысить качество выпускаемых изделий и получить возможность быстрого освоения новой, востребованной рынком продукции, позволит переход к методам сквозного параллельного проектирования и подготовки производства.

В ОАО «АГАТ – системы управления» создана система сквозной автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства, которая позволяет автоматизировать все бизнес-процессы и этапы проектирования, технологической подготовки, изготовления, авторского надзора, обслуживания и ремонта изделий в гарантийный и послегарантийный периоды.

Данная система представляет собой интегрированный комплекс систем автоматизации:

1. Система автоматизированного твердотельного проектирования и трехмерного моделирования, силового, теплового, статического анализа и оптимизации конструкций SolidWorks;
2. Система автоматизированного моделирования электрических схем, проектирования электронных модулей, анализа и оптимизации электронных моделей Mentor Graphics;
3. Система автоматизированного проектирования электрических схем соединенных приборов, шкафов, подвижных единиц E3.cable Professional.
4. Автоматизированные системы технологической подготовки производства TechCard, SprutCAM, CAM350.
5. Автоматизированная система управления данными и технического электронного документооборота SEARCH (PDM).

Использование программного комплекса Mentor Graphics позволяет моделировать и разрабатывать цифровые и аналоговые электрические схемы, моделировать конструкцию

электронных модулей, задавать при этом жесткие правила проектирования с последующей проверкой готового проекта на соответствие им. Инструменты расчетов анализа и оптимизации электронных моделей позволяют оценить работоспособность электронных модулей на этапе конструирования, в частности проследить путь прохождения сигнала, определить источники возникновения помех и их количественные характеристики, влияние помех на целостность сигнала, а также предлагают возможные методики устранения дестабилизирующих факторов. Наличие ассоциативности позволяет вносить изменения на любых этапах разработки, отражающиеся в проектах всех участников проекта.

САПР SolidWorks в сочетании с многофункциональным машиностроительным приложением CADMECH Pro для системы SolidWorks обеспечивает твердотельное моделирование деталей и сборочных единиц любой сложности, проведение инженерных расчетов, оценку, позволяет исследовать и оптимизировать структурное поведение разрабатываемых конструкций, находящихся под воздействием реальных статических и динамических нагрузок. Точное представление геометрии и адаптивная методика расчета позволяют легко получать быстрые и точные решения. По результатам моделирования генерируется комплект конструкторской документации в полном соответствии с требованиями ЕСКД.

Для проектирования электрических схем соединений на предприятии используется САПР E3.cable Professional. Все компоненты, входящие в объемный электромонтаж, выбираются из электронных библиотек и содержат необходимые параметры и свойства. Интеграция с 3-D САПР дает возможность передавать электротехническую часть проекта для разработки конструкции коммуникаций.

Полученные данные на этапе конструирования используются для разработки технологических процессов, проектирования технологической оснастки, формирования ведомостей покупных изделий и материалов, разработки и отладки управляющих программ для станков с ЧПУ при помощи автоматизированных систем технологической подготовки производства TechCard, SprutCAM, CAM350.

Интеграция и значительное повышение эффективности используемых на предприятии САПР обеспечивается PDM-системой SEARCH, базирующейся на единой базе данных под управлением СУБД Oracle. Внедрение PDM-системы «Search» позволило отказаться от традиционного бумажного делопроизводства и перейти к электронному документообороту, создать единую информационную среду предприятия с возможностью одновременного использования электронных документов всеми сотрудниками, оперативного санкционированного доступа к информации и осуществление контроля за происходящими процессами и движением документов. PDM-система SEARCH также обеспечивает взаимодействие с АСУ предприятием Галактика.

Основой АСКТПП являются автоматизированные рабочие места (АРМ), созданные на базе мощных персональных компьютеров и графических станций. Все автоматизированные рабочие места объединены в единую локально-вычислительную сеть предприятия. В состав ЛВС входят мощные серверы и высокопроизводительное коммутационное сетевое оборудование, обеспечивающие реализацию всех преимуществ САПР.

Внедрение сквозной автоматизированной системы конструкторско-технологической подготовки производства позволило нашему предприятию:

- снизить массогабаритные характеристики и материалоемкость разрабатываемых изделий на 10–20 %;
- повысить качество выпускаемой продукции и снизить расходы на гарантийное обслуживание на 15–25 %;
- сократить время разработки изделий на 20–35 %;
- сократить затраты на подготовку изделия к производству на 15–25 %;
- сократить время изготовления изделия на 10–20 %;
- сократить время на модернизацию изделий и внесение изменений в документацию на 45–60 %.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ СВЧ И КВЧ ДИАПАЗОНОВ

М.А. КОСЯК¹, А.П. БЕЛОШИЦКИЙ², А.А. ПАВЛЮЧИК¹

¹ОАО «Минский научно-исследовательский институт радиоматериалов
ул. Кижеватова, 86, г. Минск, 220024, Республика Беларусь
mniirm@mniirm.com

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
belashytski@bsuir.by

Преобразователи частоты (ПЧ) являются ключевыми компонентами многих приемных и преобразующих систем сверхвысоких (СВЧ) и крайневых частот (КВЧ). Область их применения простирается от мобильной связи до автомобильных приложений, например, таких как радар для определения расстояния до автотранспорта, обзорный локализатор или спутниковая техника. Для эффективного использования ПЧ в этих системах необходимо знать их параметры с высокой точностью. Поэтому задача измерений их параметров является весьма важной и актуальной.

Ключевые слова: преобразователи частоты, параметры, СВЧ, КВЧ.

Основными измеряемыми параметрами ПЧ являются потери на преобразование, перекрестные помехи и комплексные S-параметры входов и выходов преобразователя. Методы и средства, предназначенные для измерения этих параметров СВЧ и КВЧ диапазона весьма разнообразны. Наиболее предпочтительным для измерения параметров ПЧ в СВЧ и КВЧ диапазонах является использование векторных анализаторов цепей (ВАЦ). Современные ВАЦ позволяют проводить измерения в диапазоне от 10 МГц до 110 ГГц и обеспечивают возможность определения всех параметров преобразователя одним и тем же прибором.

В докладе рассматривается методика измерения параметров ПЧ с использованием ВАЦ R&S®ZVA40 компании Rohde & Schwarz, который имеет следующие технические характеристики:

- число тестовых портов 4;
- диапазон частот от 10 МГц до 40 ГГц;
- динамический диапазон между тестовыми портами >135 дБ;
- погрешность установки мощности выходного сигнала $\pm(0,8...2,0)$ дБ, в зависимости от частоты;
- погрешность измерения модуля коэффициента передачи $\pm(0,1...1,0)$ дБ, в зависимости от частоты.

Так как четырехпортовая модель R&S®ZVA оборудована вторым независимым источником сигнала, то измерение потерь преобразования можно выполнять без дополнительных внешних генераторов.

Для калибровки схемы измерений параметров ПЧ предлагается вместо калибровочной меры на проход использовать калибровочный смеситель. Характерными особенностями данного метода калибровки являются:

Структурная схема подключения ПЧ к ВАЦ представлена на рис. 1.

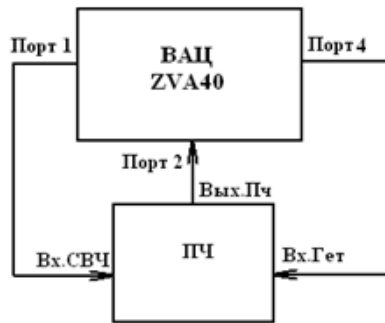


Рис. 1. Схема подключения преобразователя частоты к векторному анализатору цепей

Для проведения измерений необходимо задать частоту СВЧ сигнала и гетеродина; тип преобразования и уровень мощности входного сигнала и сигнала гетеродина.

На рис. 2 представлены диалоговые окна настройки частоты и мощности входного сигнала и сигнала гетеродина.

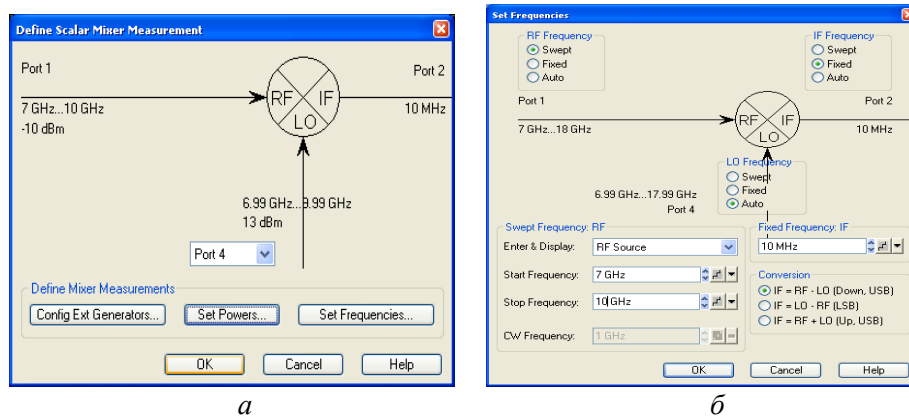


Рис. 2. Диалоговые окна настройки частоты и мощности входного сигнала и сигнала гетеродина

Комплексные значения S-параметров входа и выхода ПЧ и потерь преобразования измеряются методом прямых измерений в автоматическом режиме.

Представленная выше методика позволяет решить задачи определения параметров ПЧ СВЧ и КВЧ диапазонов с минимальными аппаратными и временными затратами.

Список литературы

1. *Просыпкина С.Е., Новикова Ю.Н.* Измерения в диапазоне миллиметровых волн с использованием преобразователей семейства R&S ZVA [Электронный ресурс]: руководство по применению / пер. : – Электрон. дан. (786 Кб), 2007.
2. *Гусинский А.В., Кострикин А.М., Дзисяк А.Б. и др.* Новые средства радиоизмерений в миллиметровом диапазоне длин волн // Метрология и приборостроение. 2004 г., №1. С 38-42.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.В. КРАВЧЕНКО

*Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации
ул. Мележа, 3, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
v.krauchanka@belgiss.by*

Приводятся результаты создания аппаратно-программного комплекса для измерения параметров лазерного излучения, созданного для целей сертификационных испытаний продукции, содержащей источники когерентного оптического излучения, в частности, связанных с определением класса опасности такого оборудования в соответствии с действующей нормативно-технической базой.

Ключевые слова: измерения, лазерное излучение, безопасность, сертификация.

Развитие лазерных технологий в последнее время привело к значительному расширению сфер применения источников лазерного излучения и росту их применения в технических устройствах различного назначения, включая бытовые. Однако, помимо преимуществ, предоставляемых данными технологиями, источники лазерного излучения являются потенциально опасными устройствами, и их использование требуют адекватного контроля, в том числе и при проведении сертификационных испытаний продукции. Широкие диапазоны измеряемых величин неизбежно приводят к значительному удорожанию рабочих мест проведения указанных измерений, поэтому создание оптимального измерительного комплекса является актуальной задачей.

Национальные и межгосударственные стандарты СТБ МЭК 60065-2004, ГОСТ IEC 60065-2001, СТБ МЭК 609501-1-2003 и ГОСТ IEC 60950-1-2011 устанавливают требования безопасности к источникам лазерного излучения, применяемым в аудио-, видео- и аналогично электронной аппаратуре, а также в оборудовании информационных технологий. Данные требования являются обязательными для применения и исполнения в рамках действия технического регламента Таможенного союза ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования».

Общая классификация уровней опасности лазеров и методика их определения приведена в СТБ IEC 60825-1-2011 и предусматривает измерение и расчёт таких параметров как: предел интенсивности доступного излучения (ПИДИ) и предел допустимого уровня (ПДУ), длина волны и мощность лазерного излучения, энергия излучения и энергетическая экспозиция и др [1]. Однако в большинстве случаев характер лазеров, применяемых в бытовом и аналогичном оборудовании, даёт возможность определения класса опасности по результатам измерения длины волны и мощности излучения. Кроме того, при создании комплекса учитывались и возможные диапазоны излучения, так как увеличение, например, измеряемого диапазона длины волны в два раза может привести к росту конечной стоимости в 10 раз, в зависимости от производителя оборудования. Принимая во внимание описанные выше факторы, общая структурная схема разрабатываемого аппаратно-программного комплекса для измерения параметров лазерного излучения примет вид, представленный на рисунке 1. Краткая характеристика комплекса приведена ниже.

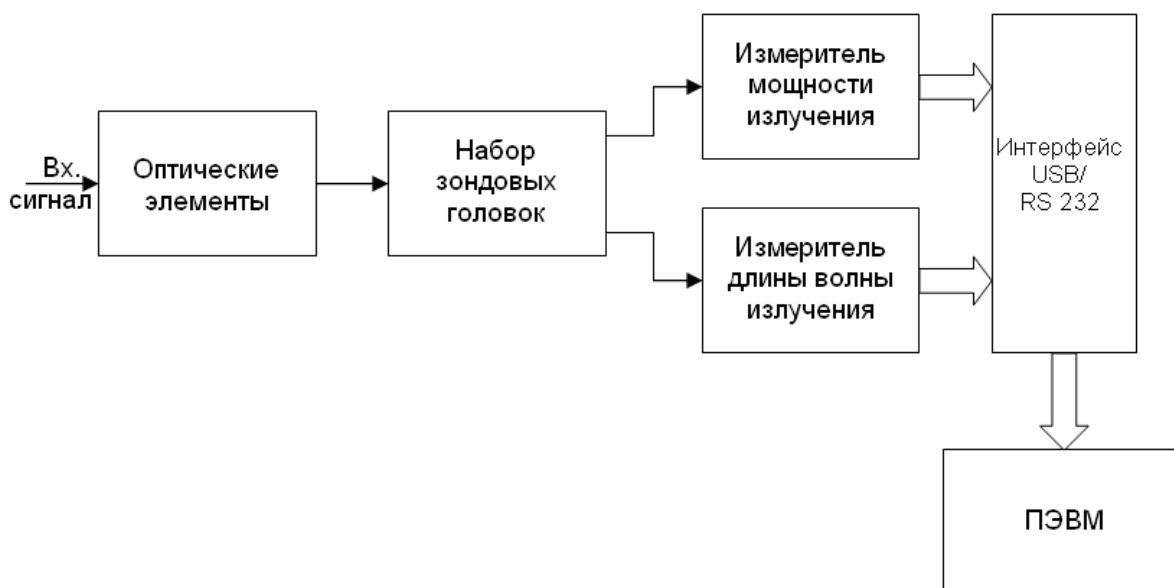


Рис. 1. Структурная схема аппаратно-программного комплекса для измерения параметров источников лазерного излучения

Оптические элементы представляют собой набор линз, апертурных диафрагм, которые позволяют направить входной сигнал от источника к выбранной заранее зондовой головке, соответствующей параметрам исследуемого лазера. После детектирования сигнала происходит его измерение и передача на ПЭВМ через интерфейсы сопряжения, для последующей обработки и хранения. Соединение с ПЭВМ позволяет автоматизировать процессы измерения при возникновении необходимости в продолжительных по времени испытаниях. Кроме того, данная возможность снижает уровень потенциальной угрозы для оператора, минимизируя время его нахождения в непосредственной близости с источниками излучения.

Диапазоны измеряемых характеристик аппаратно-программного комплекса:

Мощность – 10 мВт..30Вт

Длина волны – 190 нМ..1100 Нм

Расчёт неопределенности измерений – в процессе разработки, в виду большого количества влияющих на итоговый результат факторов.

Обсуждаются пути развития созданного аппаратно-программного комплекса и возможная сфера его применения.

Список литературы

1. СТБ ИЕС 60825-1-2011. Безопасность лазерных изделий. Часть 1. Классификация оборудования и требования.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЯЧЕЙКЕ СВЧ ДИАПАЗОНА

Н.А. ПЕВНЕВА¹, А.В. ГУСИНСКИЙ², А.Л. ГУРСКИЙ³

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
¹peuneva@bsuir.by, ²gusinski@bsuir.by, ³gurskii@bsuir.by*

Для решения актуальной задачи исследований диэлектрических свойств различных материалов в области СВЧ необходимо разработать измерительные ячейки для соответствующих частотных диапазонов. Изложены результаты трехмерного электродинамического моделирования распространения электромагнитной волны в замкнутом пространстве для дальнейшего конструирования и изготовления таких ячеек.

Ключевые слова: моделирование, электромагнитное поле, измерительная ячейка, СВЧ.

В последнее время наблюдается активное исследование и разработка сверхвысокочастотных радиоэлектронных систем. При этом одной из актуальных задач является изучение свойств материалов, в том числе конструкционных, в СВЧ диапазоне. Другой задачей является разработка точных диагностических методов, позволяющих на основе результатов измерений, в том числе в реальном времени, судить о ходе технологических и производственных процессов. Данные о диэлектрических свойствах многих материалов в СВЧ диапазоне в литературе отсутствуют, что сдерживает их применение либо не позволяет создать соответствующие методы мониторинга и диагностики.

Для исследования диэлектрических свойств материалов в частотном диапазоне 25–37 ГГц поставлена цель разработать измерительную ячейку, отвечающую основным критериям данного частотного диапазона. Для оптимизации геометрии измерительных ячеек необходимы точные сведения о пространственной структуре электромагнитного поля в ячейке с учетом его искажений, вызванных введением дополнительного элемента - полиэтиленовой трубки, содержащей исследуемое вещество. С целью получения информации о структуре электромагнитного поля было проведено моделирование системы, состоящей из двух рупорных антенн и одной измерительной ячейки, помещенной между ними, с помощью среды трехмерного электродинамического моделирования Ansoft HFSS [1] (рис. 1).

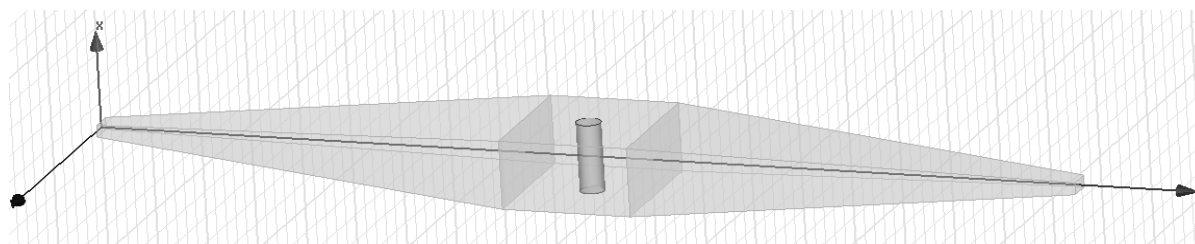


Рис. 1. Смоделированная в HFSS система, состоящая из двух рупорных антенн и одной измерительной ячейки, помещенной между ними

В смоделированной в HFSS системе было получено и проанализировано распределение электромагнитного поля (рис. 2), а также влияние вышеуказанного дополнительного измерительного элемента на это распределение.

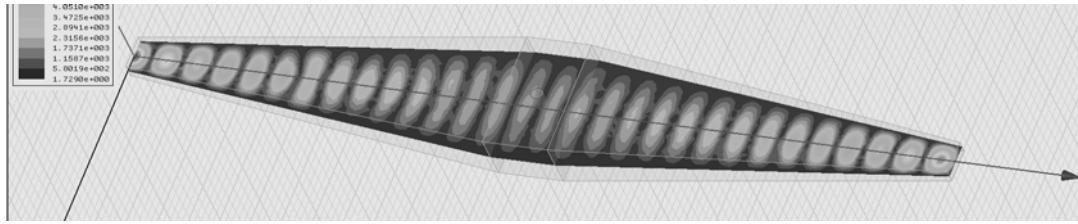


Рис. 2. Распределение электромагнитного поля в смоделированной системе

Если размеры сечения волновода выбираются таким образом, чтобы обеспечить формирование необходимой структуры поля, то, плавно увеличивая сечение волновода, эту структуру можно сохранить, а размеры измерительной ячейки увеличить. В месте перехода от волновода к рупору возникают высшие типы волн, но при достаточно плавном расширении волновода (малый угол раствора рупора) интенсивность этих волн невелика. Вектор \mathbf{E} электромагнитного поля при переходе из волновода в рупор несколько изменяют свое направление, что обеспечивает выполнение граничных условий на стенках рупора.

Направленные свойства рупорной антенны приближенно можно оценить, используя метод Гюйгенса-Кирхгофа. В соответствии с этим методом поле излучения любой апертурной антенны можно рассчитать путем сложения полей излучения элементарных площадок, расположенных непрерывно по всей излучающей поверхности антенны. В данном случае излучающей поверхностью является поверхность раскрыва рупора. Поскольку в рупоре в основном сохраняется тот же характер поля, что и в волноводе, то принимают, что на апертуре существуют две взаимно-перпендикулярные тангенциальные составляющие поля E_y и H_x , амплитуды которых не зависят от координаты y , а вдоль координаты x изменяются по закону косинуса. Однако, в отличие от поверхности открытого конца волновода, апертура рупора не может быть возбуждена синфазно, так как в рупоре распространяется цилиндрическая (в секториальных) или близкая к сферической (в пирамидальных) волна.

Диаграмма направленности излучающей поверхности с квадратичным фазовым распределением, рассчитанная по методу Гюйгенса-Кирхгофа, определяется математическим выражением, содержащим интегралы Френеля [2]. При этом диаграммы направленности в плоскостях E и H оказываются несовпадающими в силу различного характера распределения амплитуды поля от координат X и Y . Ширина диаграммы направленности больше (при одинаковых a и b), а уровень бокового излучения рупорной антенны меньше в плоскости H чем в плоскости E , причем это различие вызвано только характером распределения поля по апертуре [3].

На основе полученных данных о распространении электромагнитного поля в замкнутом пространстве были оптимизированы геометрические размеры и форма измерительной ячейки.

Список литературы

1. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft. М., 2009.
2. Фролов О.П. Антенны и фидерные тракты для радиорелейных линий связи. М., 2001.
3. Гусинский А.В., Шаров Г.А., Кострикин А.М. Анализ и преобразование сигналов. Минск, 2012.

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ПО ТЕХНОЛОГИЯМ xDSL

В.И. КИРИЛЛОВ¹, М.В. ВЛАСЕНКО²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
kirillov@bsuir.by

²Военная академия Республики Беларусь
ул. Независимости, 220, г. Минск, 220057, Республика Беларусь

Использование цифровых систем передачи (ЦСП) по технологиям xDSL в условиях развития сети связи Вооруженных Сил Республики Беларусь является весьма актуальным и связано с постоянным ростом пропускной способности линий связи между пунктами управления. Однако кроме очевидных достоинств, ЦСП по технологиям xDSL имеют и недостатки. Применяемые на сегодня алгоритмы компенсации эхо-сигналов в однополосных ЦСП имеют конечную эффективность, что является их фундаментальным ограничением. Поэтому достаточно перспективными являются исследования возможностей ЦСП с частотным разделением направлений передачи, в которых не требуется компенсировать эхо-сигналы и разделять направления передачи с помощью диффсистем. Как показывают исследования, ЦСП с частотным разделением в ряде случаев имеют большую эффективность и оказываются предпочтительнее однополосных ЦСП.

Ключевые слова: цифровые системы передачи, технологии xDSL.

В рамках развития сети связи Вооруженных Сил Республики Беларусь актуальным являются вопросы использования цифровых систем передачи (ЦСП) по технологиям xDSL [1]. Такие системы передачи кроме очевидных достоинств, имеют и некоторые недостатки. При работе нескольких однополосных цифровых систем передачи технологии xDSL по парам одного медного кабеля из-за наличия взаимных влияний происходит ухудшение условий работы и снижение качественных характеристик этих систем (рис. 1) [2–4].

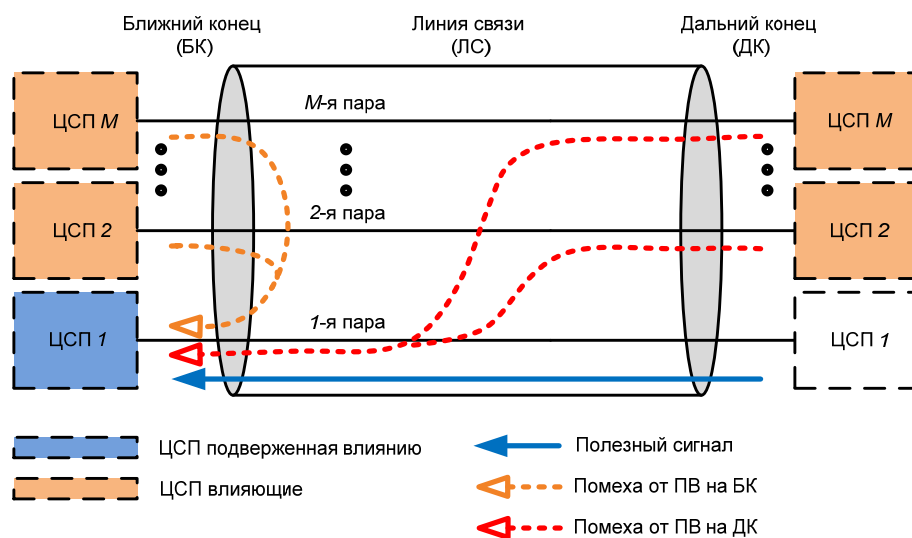


Рис. 1. Схема поясняющая суть проблемы организации эффективной совместной работы нескольких ЦСП по технологии xDSL на одном медном кабеле связи

Снижение эффективности ЦСП в указанных условиях проявляется в снижении пропускной способности или уменьшении длины участков регенерации систем передачи, чему свидетельствуют проведенный анализ и опыт практического применения. В связи с этим существует проблема организации эффективной совместной работы нескольких систем передачи по технологии xDSL на одном медном кабеле.

В настоящем докладе приводится методика расчета и параметрической оптимизации ЦСП в условиях совместной работы на многопарных кабелях с произвольными скоростями передачи и параметрами. Показано, что очень важно при эксплуатации систем передачи провести параметрическую оптимизацию, что дает возможность получить расчетную длину участка связи, которая во многих случаях существенно больше, чем при использовании неоптимальных параметров ЦСП [5].

Проведенное моделирование показывает, что не существует универсальных решений оптимизации для всех типов применяемых кабелей связи. В каждом конкретном случае совместной работы нескольких ЦСП на одном кабеле требуется новый поиск оптимальных значений параметров ЦСП [5].

При оптимизации однополосных ЦСП, которые работают совместно на одном кабеле, необходимо учесть шумы на входе решающего устройства каждой из однополосных ЦСП, образованные из-за конечной компенсирующей способности применяемых эхо-компенсаторов. Применяемые в однополосных ЦСП алгоритмы компенсации эхо-сигналов имеют эффективность от 27,5 до 60 дБ [6], поэтому достаточно перспективными являются исследования возможностей ЦСП с частотным разделением направлений передачи, в которых не требуется применение эхокомпенсаторов и диффсистем. ЦСП с частотным разделением в ряде случаев имеют большую эффективность и оказываются предпочтительнее однополосных ЦСП [7, 8].

Список литературы

1. *Власенко М.В.* Повышение пропускной способности кабельных линий военной цифровой связи за счет применения технологий xDSL // Сб. науч. статей Воен. акад. РБ. 2008. № 14. С. 33–41.
2. *Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г.* Цифровые сети доступа. М.: Эко-Трендз, 2005.
3. *Кириллов В.И., Белко А.И.* Эффективность технологий линейного кодирования для цифровых систем передачи абонентских линий // Электросвязь. 2002. №11. С. 15–18.
4. *Кириллов В.И.* Многоканальные системы передачи: Учебник для вузов. 2-е издание. М.: Новое знание. 2003.
5. *Власенко М.В.* Методики расчета и оптимизации однополосных цифровых систем передачи по технологиям xDSL с учетом шумов эхо-компенсации // Докл. БГУ-ИР. 2012. № 4(66). С. 75–81.
6. *Кузнецов Е.П.* Методы и алгоритмы адаптивной эхо-компенсации: сравнительный анализ эффективности применения // Цифровая обработка сигналов. 2007. № 2. С. 26–34.
7. *Кириллов В.И., Власенко М.В.* Анализ и оптимизация ЦСП по кабельным линиям связи с частотным разделением направлений // Веснік сувязі. 2011. № 6. С. 35–39.
8. *Кириллов В.И., Власенко М.В.* Цифровые системы передачи «последней мили» с частотным разделением направлений: анализ, оптимизация, сравнение // Электросвязь. 2012. № 11. С.28–31.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФАНТОМНОЙ ЦЕПИ

В.И. КИРИЛЛОВ¹, И.Н. БЕЛЯНСКИЙ²

¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
kirillov@bsuir.by*

²*Военная академия Республики Беларусь
пр. Независимости, 220, Минск, 220057, Беларусь
ilyabelyansky1987@gmail.com*

Одночетвёрочный медный кабель широко используется при организации линий и сетей связи. Постоянный рост объёмов передаваемой информации предъявляет повышенные требования к пропускной способности кабеля. Поэтому существует необходимость в структурной и параметрической оптимизации существующих вариантов работы ЦСП.

Ключевые слова: фантомная цепь, цифровая система передачи, пропускная способность.

Для обеспечения связи по одночетвёрочному медному кабелю применяются различные структурные построения ЦСП. По количеству пар, используемых одной ЦСП, могут быть двухпроводные и четырёхпроводные ЦСП. По способу организации дуплексной передачи существуют два вида двухпроводных ЦСП (с однополосной дуплексной передачей и с двухполосной дуплексной передачей) и три вида четырёхпроводных ЦСП (с однополосной полудуплексной передачей по каждой паре, с однополосной дуплексной передачей по каждой паре и с двухполосной дуплексной передачей по каждой паре). По виду линейного сигнала выделяют ЦСП, использующие линейные сигналы, сформированные методами многоуровневой АИМ (РАМ), и ЦСП, использующие линейные сигналы, сформированные методами многопозиционной модуляции одной или нескольких несущих частот (QAM, CAP, DMT) [1].

В результате исследований в рамках структурной и параметрической оптимизации меднокабельных ЦСП и оценки эффективности разных вариантов ЦСП по критерию предельная длина регенерационного участка [2] были определены оптимальные варианты построения ЦСП и параметры передаваемых сигналов. Так, например, при работе на одночетвёрочном кабеле одной или двух однотипных ЦСП с многоуровневым АИМ линейным сигналом наиболее предпочтительным вариантом является однополосная дуплексная передача по каждой паре. При этом для одной ЦСП, работающей по двум парам, вследствие снижения символьной частоты сигнала достигается увеличение предельной длины регенерационного участка. При совместной работе двух разнотипных ЦСП, имеющих одинаковые линейные коды, но разные информационные скорости передачи, предельная длина участка регенерации определяется более высокоскоростной ЦСП [3].

Совместная работа двух разнотипных ЦСП с многоуровневыми АИМ линейными сигналами, имеющих одинаковые информационные скорости, но разные линейные коды, обеспечивается при длине участка регенерации, которая может быть как меньше, так и больше, чем длина участка регенерации при одинаковых кодах передачи. Сложный и не вполне очевидный характер зависимости длины участка регенерации объясня-

ется существенным различием характеристик спектральных плотностей мощности линейных сигналов, имеющих разные коды и скорости передачи [4].

В случае однокабельного построения линии связи с использованием двух- или четырёхпроводных ЦСП с двухполосной дуплексной передачей по каждой паре САР (QAM) линейного сигнала предельная длина регенерационного участка определяется защищённостью высокочастотного направления от собственных шумов и переходных влияний (ПВ) на дальний конец (ДК). При работе на кабеле одной ЦСП двухполосная передача САР (QAM) сигнала проигрывает однополосной передаче АИМ сигналов [5, 6].

Применение фантомной цепи (ФЦ) позволяет организовать в одночетвёрочном кабеле третью пару для передачи информации [7]. Это позволяет рассмотреть дополнительные варианты структурных построений ЦСП.

Анализ особенностей совместной работы разнотипных ЦСП [8] позволил определить, что для увеличения длины участка регенерации при неизменной скорости передаваемого сигнала либо для увеличения скорости передаваемого сигнала при неизменной длине участка регенерации при использовании ФЦ целесообразно использовать несимметричное деление цифрового сигнала. При этом большую часть цифрового потока необходимо передавать по ФЦ, а меньшую — делить между физическими парами. Это позволяет рассмотреть следующие возможные варианты подключения высокоскоростных ЦСП на одночетвёрочном кабеле:

- 1) две односкоростные ЦСП с АИМ (РАМ) линейным сигналом, работающие на скорости потока E2 (см. рис. 1, а);
- 2) две разноскоростные ЦСП АИМ (РАМ) линейным сигналом: ЦСП-1 со скоростью АИМ сигнала E2 (делится в отношении 3:1), ЦСП-2 со скоростью АИМ сигнала E1 (см. рис. 1, б).

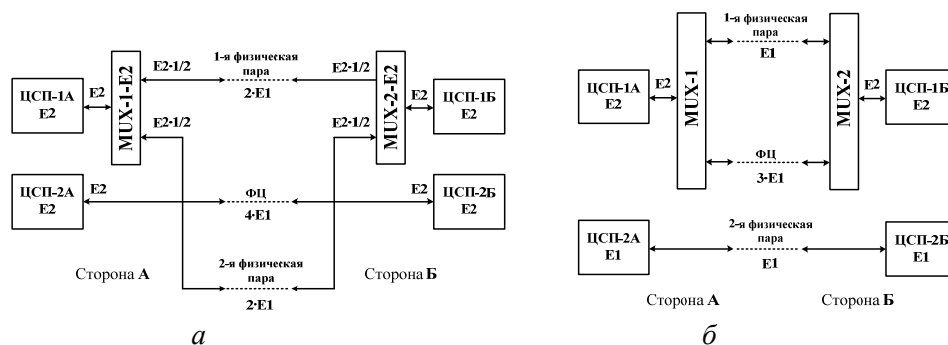


Рис. 1. Варианты подключения высокоскоростных ЦСП на одночетвёрочном кабеле: а – две односкоростные ЦСП; б – две разноскоростные ЦСП

Список литературы

1. Горальски В. Технологии ADSL и DSL. М., 2000.
2. Кириллов В. И., Белко А. И. // Электросвязь. 2001. №10. С. 20–23.
3. Кириллов В. И., Белко А. И. // Веснік сувязі. 2001. №3. С. 44–47.
4. Кириллов В. И., Белко А. И., Соборова И.Г. и др. // Веснік сувязі. 2003. №5. С. 39–44.
5. Кириллов В. И., Белко А. И. // Веснік сувязі. 2002. №6. С. 17–23.
6. Кириллов В.И., Белко А.И., Малашкевич Д.Ф. // Веснік сувязі. 2003. №3. С. 56–58.
7. Кириллов В. И., Белко А. И., Соборова И.Г. и др. // Веснік сувязі. 2003. №5. С. 39–44.
8. Кириллов В.И., Белко А.И. // Доклады БГУИР. 2006. №1 (13). С. 5–14.

РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ СЦЕНАРИЯ АТАКИ НА ИНФОРМАЦИЮ, ПЕРЕДАВАЕМУЮ В СЕТЯХ PON

В.И. КИРИЛЛОВ¹, Е.А. КОВРИГА²

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
¹kirillov@bsuir.by; ²cool_kit@mail.by*

На основе предыдущих авторских публикаций дополнена стандартная модель сценария атаки на информацию, передаваемую в пассивных волоконно-оптических сетях PON; выделены преимущества и особенности применения квантовой криптографии в сетях PON.

Ключевые слова: пассивные волоконно-оптические сети PON, защита информации, симметричные/асимметричные криптосистемы, квантовая криптография.

В статье [1] показано, что криптографические средства защиты информации являются единственными эффективными мерами при борьбе с нарушением достоверности передаваемой информации и нарушением конфиденциальности в тех случаях, когда измерительные методы не позволяют выявить злоумышленника.

В современной литературе выделяют два типа криптосистем: симметричные и асимметричные [2]. У обеих этих систем есть существенные недостатки: при симметричном шифровании взаимодействующим сторонам необходим защищенный канал, по которому они могли бы обмениваться секретными ключами, а асимметричные системы основываются только на относительно медленном развитии технического прогресса [2]. Поэтому возникла потребность в криптографических системах, основанных на принципах, отличных от математических. В качестве примера такой системы можно привести квантовую криптографию. Прежде всего, системы квантовой криптографии ориентированы на создание абсолютно защищенного канала для распределения ключа и разделяются на два направления: кодирование квантового состояния одиночной частицы и квантовое перепутывание фотонов [3].

В настоящее время ученые-исследователи стремятся увеличить т.н. «физические» параметры систем квантовой криптографии (а именно протяженность волоконно-оптической линии связи); разрабатывают модифицированные протоколы кодирования, направленные на уменьшение количества полезной информации, которую теоретически может получить злоумышленник, но в то же время на увеличение значения ошибки на приемной стороне, вызванной действиями нарушителя; переходят от систем «точка-точка» к древовидной топологии «точка-многоточка», что становится особенно актуальным в связи с повсеместным развертыванием пассивных волоконно-оптических сетей доступа PON в качестве абонентской «последней мили» (переданный отправителем единичный фотон не может быть разделен или скопирован, но может появиться с некоторой вероятностью на одном из выходов сплиттера) [3].

Приведем несколько примеров актуальных разработок: в статье [4] показано, что скорость распределения квантового ключа можно повысить, установив сплиттер, в отличие от традиционных древовидных схем сетей PON, в т.н. «центральном офисе» у отправителя; в работе [5] вместо обычных пассивных сплиттеров применялись активные оптические переключатели, способные подключать отправителя к любому из получателей, создавая тем самым временные каналы «точка-точка»; в статье [6] смодели-

рована возможность построения звездообразной сети с распределением квантовых ключей без участия «центрального узла».

Таким образом, с учетом всего вышеизложенного полученную в [1] обобщенную модель сценария атаки на информацию, передаваемую по сетям PON, можно дополнить, как показано на рис. 1.

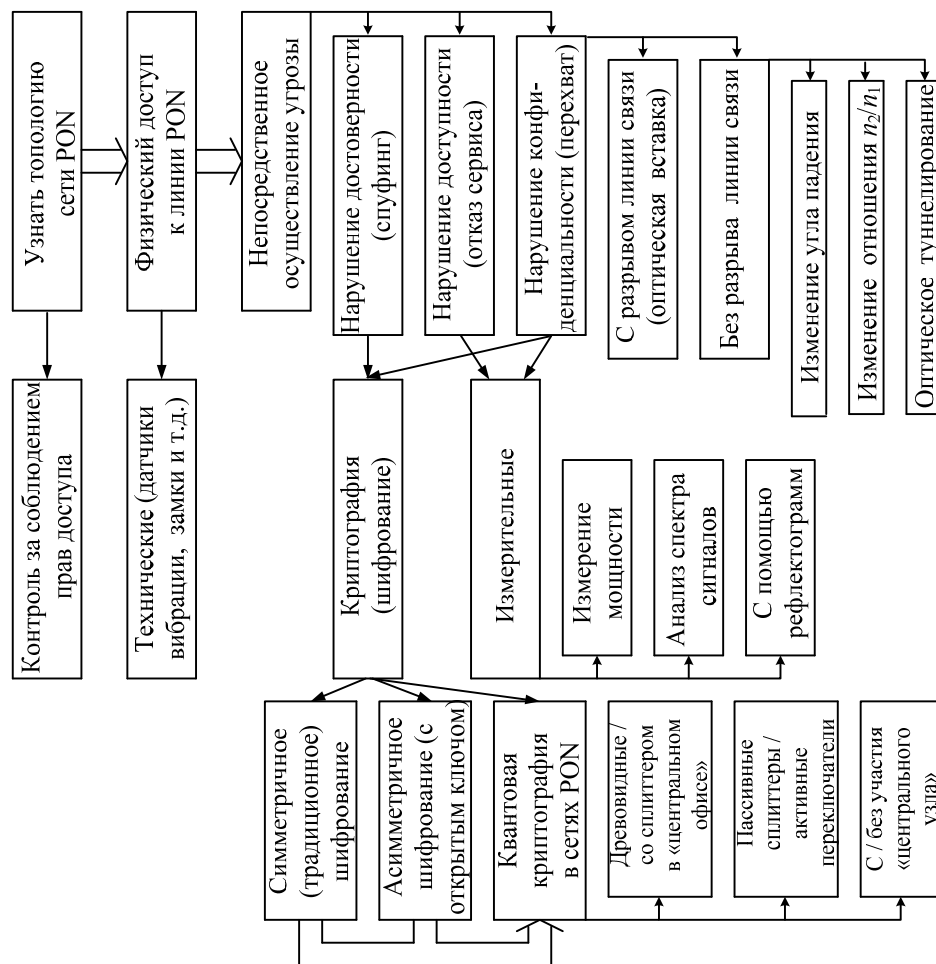


Рис. 1. Стандартная модель сценария атаки на информацию, передаваемую в сетях PON

Список литературы

1. Кириллов В.И., Коврига Е.А. Исследование обобщенной модели сценария атаки на информацию, передаваемую по пассивным волоконно-оптическим сетям PON // *Вестник связи*, 2014 (В печати).
2. Чмора А.Л. Современная прикладная криптография. 2-е изд., стер. М.: Гелиос АРВ, 2002. 256 с.
3. Бурин Д.А. // *T-Comm*, 2012. №7. С. 27–29.
4. Fernandez V., Collins R.J., Gordon K.J. etc. // *Optics Express*, 2005. V. 13 (8). P. 3015–3020.
- 5.] Tang X., Ma L., Mink A. etc. Demonstration of an active quantum key distribution network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=1290518. – Дата доступа: 29.11.2013.
6. Mo X.-F., Zhang T., Xu F.-X. etc. Quantum key distribution network with wavelength addressing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.arxiv.org/abs/quant-ph/0610096v2. – Дата доступа: 29.11.2013.

ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО 3-МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

В.Т. РЕВИН¹, Н.М. НАУМОВИЧ², О.А. МУРАВЬЕВ³

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

¹revin@bsuir.by; ²naumovich@bsuir.by; ³olegmur@yandex.ru

К важнейшим задачам совершенствования систем миллиметрового диапазона относится необходимость высокоточного измерения диаграмм направленности антенн в широком динамическом диапазоне. В этой связи большой интерес представляют измерительные приемные устройства, обладающие высокими разрешающей способностью по частоте и чувствительностью в заданном частотном диапазоне. Особенно важно достижение максимальной чувствительности в коротковолновой области миллиметрового диапазона, где до настоящего времени отсутствуют широкополосные малошумящие входные усилители.

Ключевые слова: измерительное приемное устройство, радиоконтроль, диаграммы направленности антенн, амплитудные и частотные параметры.

Для выполнения задач измерения малых уровней мощности, напряженности электромагнитного поля и параметров радиосигналов используются разные виды измерительного оборудования, в том числе сканирующие радиоприемные устройства, селективные микровольтметры, аналоговые и цифровые анализаторы спектра, панорамные радиоприемные устройства, панорамные измерительные приемники.

Разработанное измерительное приемное устройство представляет собой панорамный измерительный приемник с высокими метрологическими характеристиками, предназначенный для измерения частоты, уровня и других необходимых параметров радиосигналов. Обобщенная структурная схема разработанного приемного устройства 3-миллиметрового диапазона длин волн приведена на рис. 1.

Особенностью построения данной схемы измерительного приемного устройства является использование для формирования гетеродинного сигнала комбинированного синтезатора частот, состоящего из трех источников сигнала, синхронизированных одним задающим генератором, переключение которых осуществляется с помощью волноводного электрически управляемого переключателя.

Сигнал первой промежуточной частоты с выхода балансного смесителя поступает на высокочастотный вход векторного анализатора сигналов, в котором осуществляется второе преобразование частоты. Сигнал второй промежуточной частоты с выхода понижающего преобразователя анализатора сигналов подается на вход аналого-цифрового демодулятора, который синхронизируется от высокочастотного генератора. В аналого-цифровом демодуляторе производится квадратурная демодуляция сигнала с последующим преобразованием его в цифровой код.

Управление режимами работы и обработки измерительной информации производится с помощью контроллера. Наблюдаемый сигнал и результаты измерений отображаются на дисплее компьютера в виде виртуальной панели, центральную часть которой занимает графическая панель, на которой отображаются спектры принимаемых приемным устройством сигналов с указанием значений частот в гигагерцах и уровней измеряемых сигналов в дБм.

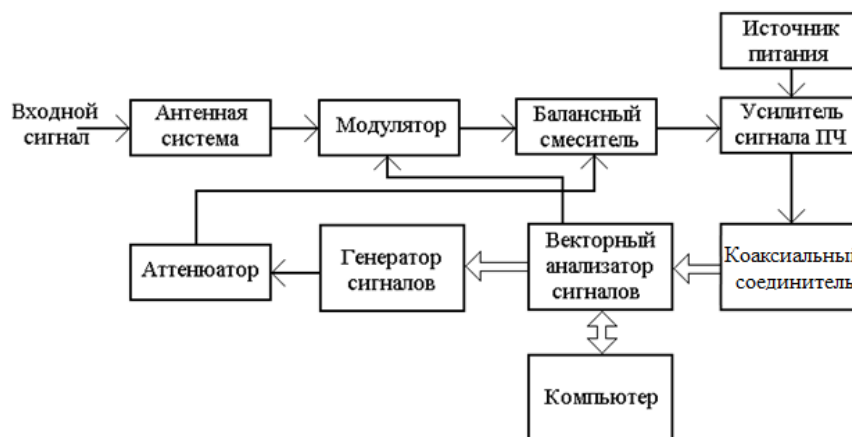


Рис. 1. Обобщенная структурная схема приемного измерительного устройства миллиметрового диапазона

Для проведения экспериментальных исследований была собрана экспериментальная установка, включающая в себя перестраиваемый по частоте источник миллиметрового сигнала, измерительный поляризационный аттенюатор и рупорную антенну. В состав установки входят также ваттметр поглощающей мощности и цифровой частотомер для измерения параметров излучаемого сигнала.

Результаты экспериментальных исследований разработанного измерительного приемного устройства миллиметрового диапазона длин волн приведены в табл. 1.

Табл. 1. Характеристики разработанного приемного устройства миллиметрового диапазона

Наименование объекта	Наименование технических показателей	Единица измерения	Значение реализованного показателя
Макет приемного устройства миллиметрового диапазона длин волн	Диапазон рабочих частот	ГГц	78,33 – 118,1
	Пределы измерения мощности синусоидальных сигналов	Вт	$10^{-12} - 10^{-6}$
	Динамический диапазон в процессе измерения	дБ	33

Таким образом, в результате проведенной работы достигнуто расширение полосы рабочих частот приемного устройства, динамического диапазона измерений исследуемых сигналов и достигнут предельно возможный в настоящее время уровень чувствительности широкополосной измерительной системы для 3-миллиметрового диапазона.

КОМПЬЮТЕРНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА АЧХ И ФЧХ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

В.Т. РЕВИН¹, Ю.С. АЛЬКЕВИЧ², В.А. СИМОНЕНКО³

¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
revin@bsuir.by, letterdotandnumber@gmail.ru, viteo@yandex.ru*

Применение компьютерно-измерительных систем является в настоящее время приоритетным направлением автоматизации процесса измерения параметров радиотехнических сигналов и цепей. В этой связи большой интерес представляет автоматизация средств измерений амплитудно- (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик широкого класса четырехполосников, используемых в различных областях современной техники.

Ключевые слова: компьютерно-измерительная система, амплитудно-частотная характеристика, фазочастотная характеристика, программное обеспечение, LabVIEW.

Наиболее перспективным путем повышения уровня автоматизации измерения амплитудных и фазовых параметров в диапазоне частот является использование в составе измерительных систем встроенных средств вычислительной техники, позволяющей обеспечивать диалог оператора с системой и представлять при этом измерительную информацию в цифровом виде, обеспечивать контроль правильности действия оператора и самоконтроль системы, организовывать интерфейс, что позволит использовать прибор в составе больших автоматизированных измерительных систем, повышать точность измерений путем учета при вычислении результата измерения факторов, влияющих на точностные характеристики системы.

Наряду с амплитудными и частотными параметрами измерение фазовых параметров сигналов, элементов и узлов аппаратуры, линий связи и трактов передачи является одним из наиболее распространенных видов измерений, особенно в радиоэлектронике и технике связи. Их знание необходимо для обеспечения безынерционной передачи информации и становится особенно важным при передаче информации на большие расстояния. Кроме того, с помощью фазовых параметров часто оценивают качество различных устройств радиоэлектроники и связи.

Разработанная на кафедре метрологии и стандартизации БГУИР для целей учебного процесса компьютерно-измерительная система (КИС) позволяет проводить анализ АЧХ и ФЧХ различных четырехполосников в диапазоне частот от 1 до 150 кГц в автоматическом режиме. Структурная схема КИС для анализа АЧХ и ФЧХ приведена на рис. 1.

В качестве источника опорного и измерительного сигналов используется цифроаналоговый преобразователь платы сбора данных NI PCI-6251 производства National Instruments. Генерация синусоидального сигнала качающейся частоты происходит путем подачи цифровых кодов выборок, формируемых ЭВМ, в буфер памяти цифроаналогового преобразователя (ЦАП) по шине PCI. Считывание цифровых кодов из буфера и последующая генерация отдельной выборки синхронизируется тактовым генератором 1.

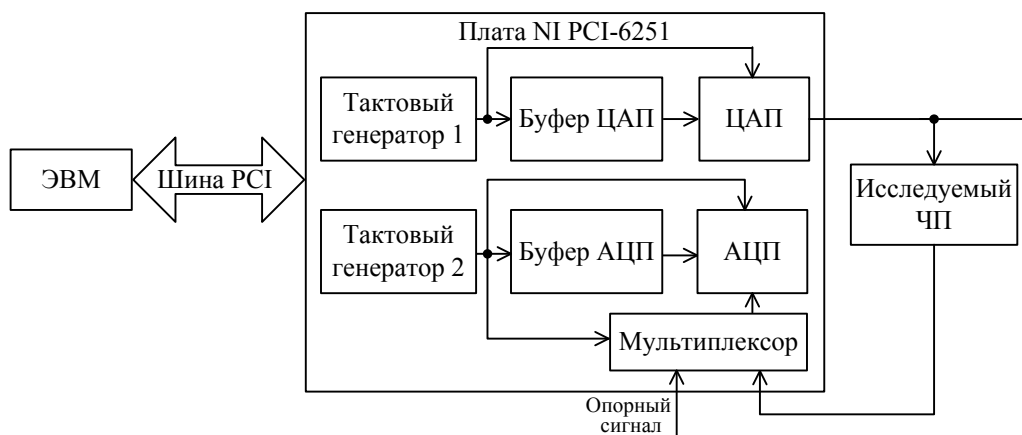


Рис. 1. Структурная схема компьютерно-измерительной системы для анализа АЧХ и ФЧХ четырехполюсников

Измерение параметров опорного сигнала и сигнала, снимаемого с выхода исследуемого четырехполюсника, обеспечивается персональным компьютером после их последовательного преобразования в цифровой код и записи в буфер АЦП. Последовательная подача опорного и измерительного сигналов на вход шестнадцатиразрядного АЦП осуществляется с помощью мультиплексора. Процесс коммутации и записи измерительной в буфер АЦП синхронизируется тактовым генератором 2. После завершения операции считывания информации данные из буфера АЦП передаются в ЭВМ по шине PCI. Поскольку получение измерительной информации происходит поочередно, то полученные результаты измерения будут содержать ложный фазовый сдвиг, значение которого определяется в процессе вычислений.

Управление процессом измерения производится с помощью программного обеспечения, установленного на персональном компьютере. Программное обеспечение создано в графической среде программирования LabVIEW 2009 с использованием библиотек функций управления платой NI PCI-6251.

Основные параметры разработанной компьютерно-измерительной системы приведены в табл. 1.

Табл.1. Основные параметры компьютерно-измерительной системы

Диапазон рабочих частот, кГц	1 – 150
Пределы измерения фазовых сдвигов, град.	± 180
Пределы измерения относительной амплитуды, дБ	минус 40 – плюс 20
Погрешность измерения фазовых сдвигов, град.	± 2 (на частоте 1 – 100 кГц) ± 5 (на частоте 100 – 150 кГц)
Погрешность измерения относительной амплитуды, дБ	$\pm 0,5$
Погрешность установки частоты, %	$\pm 0,0015$

Таким образом, в процессе разработки КИС решена основная поставленная перед разработчиками задача – практически полная автоматизация процесса измерения АЧХ и ФЧХ четырехполюсников.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.В. МАШЕДО¹, А.П. БЕЛОШИЦКИЙ²

¹ОАО «Испытания и сертификация бытовой и промышленной продукции «БЕЛЛИС»
ул. Красная, 8, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
n.mashedo@gmail.com

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
belashytski@bsuir.by

Проблема оценки и контроля фотобиологической безопасности ламп и ламповых систем связана с отсутствием в нашей стране средств измерений для определения необходимых параметров. Поэтому создание и метрологическое обеспечение измерительного комплекса для определения параметров источников светового излучения является важной и актуальной задачей.

Ключевые слова: фотобиологическая безопасность, световое излучение, источники света, облучение.

Лица, находящиеся вблизи ламп и ламповых систем, не должны подвергаться облучению, уровень которого превышает нормы, установленные в [1]. Предельные дозы облучения определяются из условий, при которых почти каждый человек может многократно подвергаться облучению без ущерба для здоровья. Они используются в качестве основания для контроля облучения от источников непрерывного излучения при длительности воздействия не менее 0,01 мс и не более 8 ч.

В общем случае для отнесения источника светового излучения к той или иной группе риска согласно [1] необходимо знать спектральную энергетическую яркость источника и общую энергетическую освещенность, измеренные при определенном положении глаз облучаемого человека. Такие спектральные данные источника света определяются, если яркость источника превышает 10^4 кд·м⁻². При яркости источника меньше этого значения, предполагаемая предельная доза облучения не будет превышена.

Окончательное решение об отнесении источника светового излучения к той или иной группе риска формируется не только на основании полученных спектральных данных, но и в зависимости от времени воздействия каждого конкретного вида опасности. Исходя из результатов многочисленных научных исследований, выделяют следующие виды опасностей для человека в зависимости от диапазона длин волн светового излучения:

- актиничная ультрафиолетовая опасность для кожи и глаз;
- опасность ближнего ультрафиолетового излучения для глаз;
- опасность излучения синего света для сетчатки;
- опасность термического воздействия на сетчатку;
- опасность инфракрасного излучения для глаз.

На рис. 1 приведена структурная схема измерительного комплекса для определения параметров источников светового излучения, метрологические характеристики которого удовлетворяют требованиям, сформулированным в [1].

Оптическое излучение от исследуемого источника с помощью входной оптики подается на монохроматор-спектрометр. Входная оптика представляет собой систему из линз, рассеивателей и фильтров, которые в целом должны обеспечивать максималь-

но приближенную к идеальной косинусную характеристику. С помощью монохроматора выделяется полоса длин волн светового излучения, в которой определяется энергетическая освещенность или энергетическая яркость. После детектирования, усиления и аналого-цифрового преобразования измерительный сигнал преобразуется в микропроцессорном устройстве к виду, необходимому для передачи в персональный компьютер. Полученная измерительная информация обрабатывается в персональном компьютере с использованием специальных алгоритмов, так как конечный результат определяется путем интегрирования по многим параметрам, что требует значительных вычислительных затрат.

При проведении измерений необходимо учитывать условия окружающей среды (температура, наличие сквозняков и т.п.), особенности процедуры измерений и подготовки образцов, влияние посторонних излучений, а также параметры электропитания ламповой системы. Перед проведением измерений необходимо проводить предварительную калибровку монохроматора-спектрометра с помощью эталонных источников излучения.

Разработанный измерительный комплекс имеет следующие метрологические характеристики:

- диапазон длин волн: 180 нм–3000 нм;
- шаг сканирования монохроматора: ± 5 нм;
- погрешность определения длины волны: $\pm 0,2$ нм (200 нм–300 нм); $\pm 0,1$ нм (300 нм – 325 нм); $\pm 0,2$ нм (325 нм–600 нм); $\pm 2,0$ нм (600 нм–1400 нм);
- подавление внеполосных излучений: 10^6 ;
- погрешность из-за отличия косинусной характеристики входной оптики от идеальной: <1 %.



Рис. 1. Структурная схема измерительного комплекса для определения параметров источников светового излучения

Список литературы

1. IEC 62471:2006 Photobiological safety of lamps and lamp systems.

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В СВЧ И КВЧ ДИАПАЗОНАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАЛОГАБАРИТНОЙ ЭКРАНИРОВАННОЙ КАМЕРЫ

М.М. КАСПЕРОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
kaspjarovich@bsuir.by*

В настоящее время методики измерений и расчета неопределенностей параметров электромагнитных полей описаны незначительно и обобщенно, что усложняет их применение. В связи с этим актуальной является измерительная задача нахождения плотности потока энергии электромагнитного поля с применением малогабаритных экранированных камер.

Ключевые слова: неопределенность измерений, плотность потока мощности, малогабаритная экранированная камера.

Установка для измерений плотности потока энергии электромагнитного поля (ЭМП) показана на рисунке 1. Основой измерения служат приборы типа МЗ – ваттметры поглощаемой мощности. В качестве измерительных антенн целесообразно использовать рупорные антенны типа Пб. Малогабаритная безэховая камера – камера сравнительно малых размеров, состоящая из двух и более слоев композитных материалов, один из которых служит экраном от внешних помех и условий окружающей среды, другой – поглотитель внутренних отражений в объеме камеры. Камера оснащена вводами и выводами для измерительной антенны и подключения испытываемого технического средства – источника электромагнитного поля. [1]

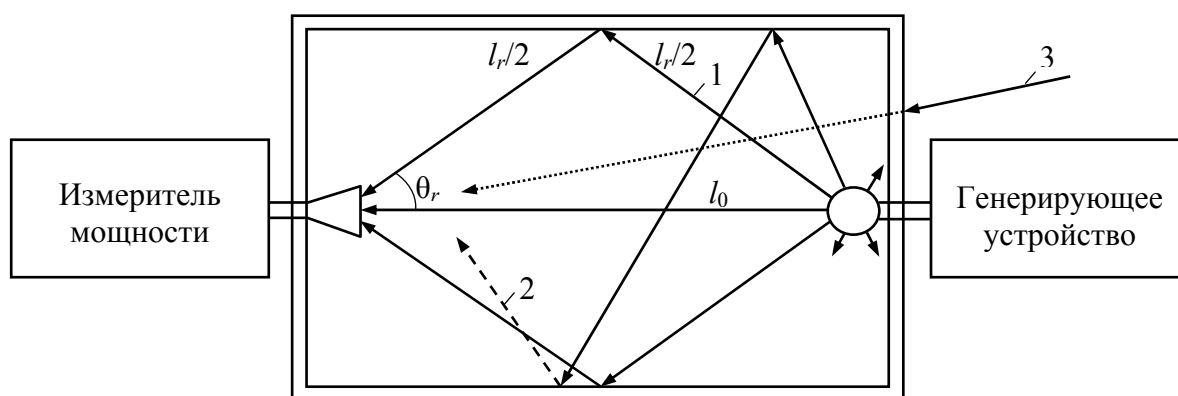


Рис. 1. Установка для измерений плотности потока энергии ЭМП

Методика измерений плотности потока энергии ЭМП состоит в следующем:

- поместить и закрепить измерительную антенну в экранированную камеру, как показано на рис.1;
- соединить антенну с измерителем мощности либо при помощи кабеля или волноводного тракта, либо непосредственно, если позволяют условия;
- произвести необходимую настройку приемной аппаратуры;

- объект измерений (ОИ) разместить с обеспечением вращения в горизонтальной плоскости;
- геометрический центр ОИ расположить на оси расположения центра симметрии измерительной антенны;
- задать требуемый режим генерации ОИ;
- перемещая вдоль осей и поворачивая устройство найти и зафиксировать его в положении, позволяющем получить максимум мощности в приемной антенне (возможны и другие положения при необходимости);
- произвести отсчет мощности по шкале измерителя мощности, зафиксировать наибольшее из полученных значений;
- выполнить обработку результатов наблюдений и получить результат измерения;
- при необходимости проверить соответствие требованиям ТНПА на устройство.

При установке аппаратуры в экранированной камере от стен и потолка происходят отражения. Эти отражения когерентно взаимодействуют с излучением по прямому пути, как это показано на рисунке 1. Когерентное сложение прямой и отраженной волны вызывает изменение эффективного уровня принимаемого сигнала по сравнению с уровнем при отсутствии отражения.

Также известно, что любой экран будет действовать как отражающая поверхность и если собрать экранирующий куб или параллелепипед, то такая конструкция будет действовать как резонатор. Другими словами в объеме экранированной камеры устанавливаются электромагнитные колебания с некоторой резонансной частотой.

Математическая модель измерения с учетом основных составляющих неопределенностей может быть записана в виде:

$$W = W_{и} - \Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6, \quad (1)$$

$$W_{и} = P / (N \cdot S), \quad (2)$$

где $W_{и}$ – измеренная плотность потока энергии, Вт/м²;

P – показания измерителя мощности, Вт;

S – эффективная площадь измерительной антенны, м²;

N – величина ослабления измерительного тракта, отн. ед.;

Δ_1 – поправка на побочные переотражения в объеме измерительной камеры, Вт/м²;

Δ_2 – поправка на возникновение эффекта резонанса в камере, Вт/м²;

Δ_3 – поправка на погрешность измерителя мощности, Вт/м²;

Δ_4 – поправка на погрешность аттестации антенны по эффективной площади, Вт/м²

Δ_5 – поправка на рассогласования в измерительном тракте, Вт/м²;

Δ_6 – поправка на погрешность аттестации тракта по ослаблению, Вт/м².

Список литературы

1. *Богуш В. А., Касперович М. М.* Точность антенных измерений в малогабаритной камере из композиционных радиопоглощающих материалов в СВЧ- и КВЧ- диапазонах длин волн // «Доклады БГУИР» № 2 (56), Минск, 2011. – С. 52 – 57.

2. Руководство по выражению неопределенности измерения / Санкт-Петербург : «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», 2002. – 135 с.

ПРОВЕРКА КВАЛИФИКАЦИИ ЛАБОРАТОРИЙ, ПРОВОДЯЩИХ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

М.В. ГАЙДУК

*Республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт метрологии»
Старовиленский тракт, 93, г. Минск, 220053, Республика Беларусь
gaiduk_maria@tut.by*

В связи с широким применением волоконно-оптических линий передачи возникает необходимость высокого качества контроля и измерений параметров оптических кабелей. Эффективным способом оценки, подтверждения и повышения качества проводимых лабораторией измерений являются проверки квалификации.

Ключевые слова: проверка квалификации лабораторий, межлабораторные сличения, оптическое волокно.

Проверка квалификации (оценивание характеристик функционирования по заранее установленным критериям посредством межлабораторных сличений) является эффективным способом оценивания характеристик функционирования лаборатории по выполнению определенных видов испытаний; выявления проблем, существующих в лаборатории; установления эффективности методов измерений; обеспечения дополнительного доверия у заказчиков лаборатории; подтверждения заявляемой точности измерений; обучения персонала лаборатории по результатам сличений. Проверка квалификации на территории Республики Беларусь осуществляется в соответствии с положениями [1].

Провайдером проверки квалификации поверочных, калибровочных и испытательных лабораторий – Республиканским унитарным предприятием «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ) разработана и реализуется (через последовательные туры проверки квалификации) программа проверки квалификации BelGIM-PT-T-8-2011 «Измерение характеристик оптического волокна».

В 2011 и 2013 годах БелГИМ реализовано два тура проверки квалификации, в которых приняли участие 15 различных лабораторий. В качестве образцов для проверки квалификации участникам были предоставлены оптическое одномодовое волокно (типа SM). Участники проверки квалификации проводили определение: оптической длины оптического волокна; затухания в оптическом волокне; коэффициента затухания оптического волокна. Измерения выполнялись участниками в соответствии с требованиями [2]. В программе проверки квалификации использована модель последовательного участия (в соответствии с [1]), т. е. образец для проверки квалификации передавался от одного участника к другому последовательно, а иногда направлялся провайдеру проверки квалификации для перепроверки.

В рамках реализации первого и второго тура проверки квалификации приписанные значения измеряемых величин определялись экспертной лабораторией в соответствии с [3] (пункт 5.5), а стандартное отклонение для оценки квалификации установлено как согласованное значение от участников в соответствии с [3] (пункт 6.6).

Оценивание функционирования участников двух туров проверки квалификации проведено с помощью количественного показателя z , который вычисляется по формуле

$$z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}}, \quad (1)$$

где x – результат измерений, предоставленный i -ым участником;
 X – приписанное значение измеряемой величины;
 $\hat{\sigma}$ – стандартное отклонение для проверки квалификации.

На рис. 1 приведен фрагмент графического представления результатов первого тура проверки квалификации. Результаты измерений затухания оптического волокна, указанные участниками первого тура проверки квалификации, упорядочены в порядке возрастания и представлены на рис. 1, *а*. На рис. 1, *а* горизонтальными линиями представлены приписанное значение и его расширенная неопределенность ($k = 2, P = 95 \%$), а вертикальными интервалами вокруг результатов измерений – расширенные неопределенности измерений, заявленные участниками. Значения количественного показателя z с указанием контрольных ($z = 3$) и предупреждающих ($z = 2$) границ упорядочены в порядке возрастания и представлены на рис. 1, *б*.

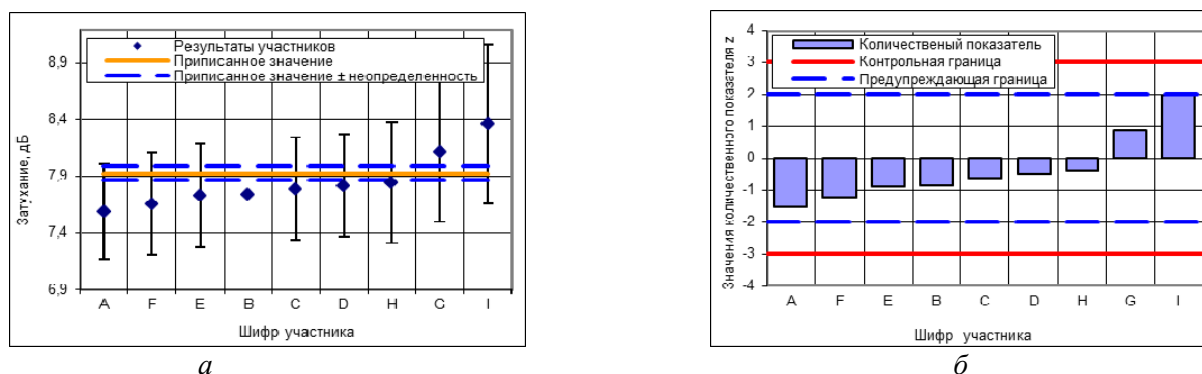


Рис. 1. Графическое представление результатов первого тура проверки квалификации:
а – результаты измерений, предоставленные участниками тура проверки квалификации;
б – диаграмма количественных показателей z

Из рис. 1, *б* видно, что количественный показатель z для измеряемой величины «затухание оптического волокна» не превысил контрольные и предупреждающие границы, что говорит об удовлетворительном функционировании всех участников в первом туре проверки квалификации при выполнении измерений по определению затухания оптического волокна. Тем не менее, всем участникам тура проверки квалификации рекомендовано принять участие в последующих турах программы проверки квалификации BelGIM-PT-T-8-2011, т. к. только периодическое участие (при условии получения удовлетворительных характеристик функционирования) может свидетельствовать о качестве проводимых лабораторией измерений.

Таким образом, проверка квалификации является эффективным способом подтверждения качества проводимых лабораториями испытаний, поверок или калибровок.

Список литературы

- ГОСТ ISO/IEC 17043-2013. Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации.
- ТКП 212-2010. Правила проведения измерений магистральных, внутризоновых и местных волоконно-оптических линий передачи.
- СТБ ISO 13528-2011. Статистические методы, применяемые при проверке квалификации лабораторий посредством межлабораторных сличений.

ДИОДНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МОЩНОСТИ СВЧ СИГНАЛОВ ДИАПАЗОНА 78,33–118,1 ГГц

А.Н. ЛУФЕРОВ¹, А.В. ВОРОШЕНЬ²

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

¹luferau@mwmlab.com, ²alvorosh@bsuir.by

В научно-исследовательской испытательной лаборатории аппаратуры и устройств СВЧ (www.mwmlab.com) при Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники разработан, изготовлен и опробован приёмный преобразователь PS78-118. Преобразователь может использоваться совместно с блоком ваттметра измерительным РМ2 (производства БГУИР) в составе СВЧ ваттметра РМ6А и обеспечивает измерение мощности СВЧ сигналов в диапазоне частот 78,33–118,1 ГГц с допускаемой основной приведенной погрешности измерения мощности не более 6 %.

Ключевые слова: СВЧ, измеритель мощности, ваттметр, погрешность.

Преобразователи мощности построенные на основе полупроводниковых диодов являются одними из самых распространенных инструментов для измерения СВЧ мощности. Эти датчики используют принцип преобразования СВЧ мощности в постоянное напряжение, которое потом измеряется. Основные трудности и источники погрешности при реализации такого метода связаны с конструированием и согласованием детекторного диода с источником СВЧ мощности, а также с нейтрализацией влияния условий окружающей среды на показания измерителя мощности.

Внешний вид разработанного приемного преобразователя PS78-118 (далее ПП) представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид приемного преобразователя PS78-118

В ПП происходит преобразование мощности входного СВЧ сигнала, подлежащего измерению, в напряжение постоянного тока, пропорциональное величине измеряемой мощности.

Преобразование СВЧ мощности происходит в детекторной секции, входящей в состав ПП, которая является согласованной нагрузкой для источника СВЧ сигнала подлежащего измерению.

Структурная схема ПП приведена на рис. 2.

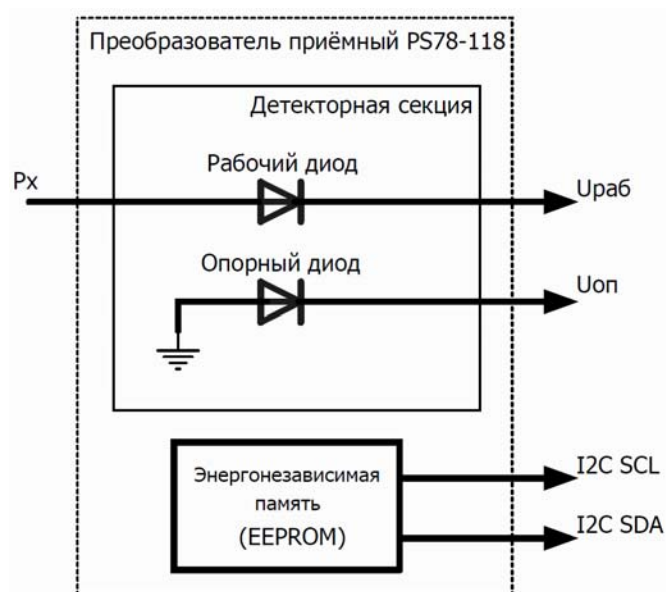


Рис. 2. Структурная схема приемного преобразователя PS78-118

На рис. 2 обозначено: P_X – входной СВЧ сигнал; $U_{РАБ}$ – выходное напряжение рабочего диода; $U_{ОП}$ – выходное напряжение опорного диода; I2C SCL – линия тактирования цифрового интерфейса I2C; I2C SDA – линия данных цифрового интерфейса I2C.

ПП представляет собой плавный переход с прямоугольного волновода сечением $2,4 \times 1,2$ мм на волноводно-щелевую линию, к концу которой подключен рабочий СВЧ диод. В целях термокомпенсации в ПП установлен опорный диод, на который СВЧ мощность не подаётся. Модуль энергонезависимой памяти EEPROM хранит калибровочные данные и другие параметры ПП.

Основные параметры и характеристики ваттметра представлены в табл. 1.

Табл. 1. Основные параметры и характеристики приемного преобразователя PS78-118

Параметр	Значение	Единица измерения
Рабочий диапазон частот	78,33 – 118,10	ГГц
Сечение волноводного тракта	$2,4 \times 1,2$	мм
Диапазон измерения мощности	0,001 – 10	мВт
Пределы допускаемой основной приведенной погрешности измерения мощности, не более	6	%
Коэффициент стоячей волны ($K_{стU}$) преобразователя, не более	1,2	
Дополнительная температурная погрешность измерения на каждые 10°C отклонения температуры окружающего воздуха от нормальных условий, не превышает	1	%

ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ ПАНОРАМНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ И ОТРАЖЕНИЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

Д.А. КОНДРАШОВ¹, А.В. ГУСИНСКИЙ², А.М. КОСТРИКИН, М.С. СВИРИД³

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

¹denis_kondrashov@yahoo.co.uk, ²gusinski@bsuir.by, ³maxim_sv@tut.by

Представлена схема построения панорамного измерителя комплексных коэффициентов передачи и отражения (параметров S_{21} и S_{11}) гомодинного типа с формированием квадратурных сигналов на основе использования аппаратного многопозиционного фазовращателя СВЧ сигналов в диапазоне частот 75-110 ГГц, приводится математическая модель обработки квадратурных сигналов и ее реализация в программной модели.

Ключевые слова: панорамный измеритель, фазовращатель, квадратурный сигнал.

Значительное место в радиоэлектронике занимают вопросы создания и применения радиоэлектронных СВЧ-систем и средств миллиметрового диапазона волн. Исследование характеристик и параметров СВЧ-устройств при их создании и проверка соответствия таких устройств спецификационным требованиям при производственном выпуске, а также многие другие задачи и исследования требуют соответствующих средств инструментального анализа СВЧ-устройств и их соединений [1, 2].

Рассматриваемый в данной статье ВАЦ выполнен по гомодинному принципу и предназначен для автоматизированного измерения комплексных коэффициентов передачи и отражения (S_{11} и S_{21}) волноводных устройств с цифровым отсчетом измеряемых величин и воспроизведением их частотных характеристик в декартовой системе координат на экране встроенного в ВАЦ компьютера. Объектами измерения могут быть устройства оконечного типа – двухполюсники и проходного типа – четырехполюсники. В гомодинном ВАЦ используется модуляция опорного и измерительного сигналов фазовой манипуляцией по алгоритму $0 - \pi$.

Принцип действия ВАЦ основан на отдельном выделении падающей на объект измерения, отраженной и прошедшей волн СВЧ сигнала. Напряжения, пропорциональные амплитудам падающей, отраженной и прошедшей волн после усиления и вычисления по специальным алгоритмам преобразуются в значения измеряемых параметров: модуль $|S_{11}|$ и фазу $argS_{11}$ коэффициента отражения, КСВН, модуль $|S_{21}|$ и фазу $argS_{21}$ коэффициента передачи. Измеряемая информация отображается в виде частотных зависимостей в декартовой системе координат с отсчетом с помощью маркера значений измеряемых параметров в любой частотной точке диапазона рабочих частот ВАЦ. Структурная схема ВАЦ представлена на рис. 1.

ВАЦ с модуляцией опорного и измерительного сигналов позволяет измерять как модуль так и фазовую характеристику параметров испытуемого устройства. Поэтому возникает необходимость снятия квадратурных сигналов, несущих информацию о косинусной и синусной составляющей сигнала.

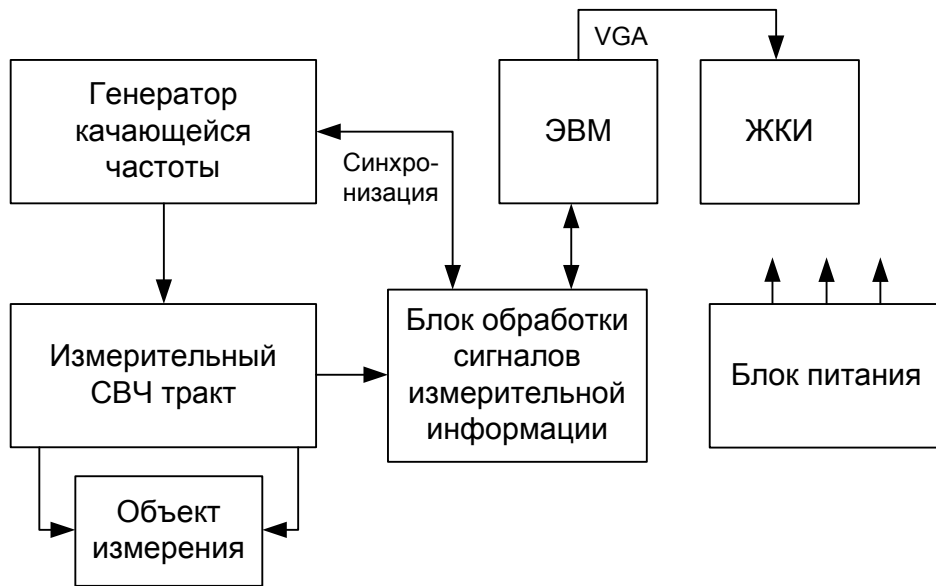


Рис. 1. Структурная схема ВАЦ

Обычно в измерительной схеме информация об измеряемом параметре содержится в сигнале, который выражается в виде [3, 4]:

$$U_1 = k_1 |S_x| \cos(\varphi_x + \varphi_0) \quad (1)$$

где $|S_x|$ и φ_x – модуль и фаза измеряемой характеристики, k_1 и φ_0 – некие параметры схемы.

Для извлечения фазы φ_x нужно иметь синусную составляющую:

$$U_2 = k_2 |S_x| \sin(\varphi_x + \varphi_0) \quad (2)$$

где k_2 – параметр схемы.

Тогда фаза может быть найдена как взятая с соответствующим знаком величина:

$$\varphi_x = \arctg(U_2 k_1 / U_1 k_2) - \varphi_0 \quad (3)$$

Используемый в рассматриваемом ВАЦ способ формирования квадратурных сигналов основан на введении в опорный канал анализатора цепей электрически управляемого бинарного фазовращателя, осуществляющего фазовую коммутацию опорного сигнала по алгоритму $\theta - \pi/2$.

Разработана математическая модель обработки квадратурных сигналов для панорамного измерителя комплексных коэффициентов прохождения и отражения СВЧ сигналов в диапазоне частот 75-110 ГГц. Предложенная модель позволяет строить более дешевые ВАЦ гомодинного типа и получать результаты близкие к величинам, полученным в гетеродинных системах. Также применение универсального программного обеспечения позволило реализовать все достоинства математической модели.

Список литературы

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М., 1988.
2. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.П. Цифровая обработка сигналов: справочник. М., 1985.
3. Рабинер Л., Голд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М., 1978.
4. Куланчев А.П. Компьютерный контроль процессов и анализ сигналов. М., 1999.

РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНЫХ ПАНОРАМНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

А.В. САЙКОВ, А.В. ВОРОШЕНЬ, С.С. ГУРСКИЙ

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

К числу наиболее эффективных измерительных средств, предназначенных для анализа параметров СВЧ-устройств (СВЧ-цепей), относятся векторные анализаторы СВЧ-цепей, представляющие современные высокопроизводительные информационно-измерительные системы, позволяющие провести необходимые измерения параметров устройств с гарантированной точностью в широких частотных диапазонах с соответствующей обработкой, представлением и хранением измеренной информации о параметрах и характеристиках испытуемых устройств.

Ключевые слова: панорамный измеритель, фазовращатель.

Научно-образовательный инновационный Центр 1.9 в течение длительного времени занимается решением актуальной проблемы: разрабатывает современные автоматизированные средства измерений для качественной настройки и производства устройств миллиметрового диапазона длин волн, а также метрологическое обеспечение измерений в этом диапазоне. В составе Центра 1.9 работает «Испытательная лаборатория аппаратуры и устройств сверхвысоких частот», аккредитованная в Системе аккредитации поверочных, калибровочных и испытательных лабораторий Республики Беларусь.

Панорамные измерители (векторные анализаторы цепей) предназначены для измерения комплексных S-параметров СВЧ устройств.

За последнее время в Центре СВЧ технологий был модернизирован панорамный измеритель в диапазоне частот 78–118 ГГц. Он имеет целый ряд современных преимуществ. Первое на что можно обратить внимание на уникальность конструкции. Функциональное двухблочное исполнение позволяет подключать испытуемое устройство, управлять процессом измерения и снимать результаты в одном рабочем положении. Верхний блок совмещает в себе генераторный блок и блок управления. В нижнем блоке располагается СВЧ измерительный тракт и блок обработки информации. В данном измерителе источником измерительного СВЧ сигнала является лампа обратной волны, с электрической подстройкой частоты. Передача СВЧ сигнала от генераторного блока к измерительному тракту нижнего блока осуществляется с помощью съемной волноводной переключки расположенной на задней панели. Главная особенность заключается в том, что верхний блок можно использовать самостоятельно как управляемый генератор СВЧ сигналов с заданным уровнем выходной мощности, перекрывающий диапазон частот 78–118 ГГц.

Измеритель позволяет измерять по отдельности или одновременно коэффициент отражения и передачи в зависимости от решаемой измерительной задачи. Собственное разработанное программное обеспечение прибора не уступает по функциональности зарубежным аналогам, позволяющее в реальном масштабе времени отображать на восьмидюймовом жидкокристаллическом дисплее результаты измерений и активно воздействовать на процессы калибровки и обработки результатов измерений, имея при этом интуитивный и понятный интерфейс даже для неопытного пользователя.

В приборе применен новый алгоритм калибровки и измерения, в основе которого лежит СВЧ фазовращатель, формирующий квадратурные сигналы, обработка которых позволяет извлечь информацию как об амплитудно-частотных, так и фазочастотных зависимостях исследуемых S-параметров. Благодаря данным нововведениям удалось значительно улучшить метрологические характеристики и расширить функциональные возможности. В итоге измеритель обладает расширенными динамическими диапазонами измерения модуля коэффициента передачи (от 0 до -55 дБ) и модуля коэффициента отражения (от 0 до -32 дБ), а пределы измерения фазы S₂₁ и фазы S₁₁ находятся от минус 180° до +180°.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных при использовании образцового поляризационного аттенюатора и набора калибровочных мер фазового сдвига, приведены в табл. 1–2.

Табл. 1. Определение пределов измерения модуля коэффициента передачи $|S_{21}|$ и основной погрешности его измерения

Установленное значение $ S_{21} $, дБ	Частота, ГГц	Измеренное значение $ S_{21} $, дБ	Основная погрешность $ S_{21} $, дБ	Пределы допустимой основной погрешности $ S_{21} $, дБ
-1,00	85,00	-0,99	-0,01	±0,23
-2,00	85,00	-1,96	-0,04	±0,26
-5,00	85,00	-4,90	-0,1	±0,35
-10,00	85,00	-9,79	-0,21	±0,50
-20,00	85,00	-19,67	-0,33	±0,80
-30,00	85,00	-29,39	-0,61	±1,10
-40,00	85,00	-38,95	-1,05	±1,40
-50,00	85,00	-48,43	-1,07	±1,70

Табл. 2. Определение основной погрешности измерения фазы S₂₁

Частота, ГГц	Используемые меры из КМФС-3	Значение воспроизводимого фазового сдвига, град	Значение воспроизводимого фазового сдвига с учетом фазового сдвига КЗ, град	Измеренное значение $\arg S_{11}$, град	Пределы допустимой основной погрешности $\arg S_{11}$, град	Пределы допустимой основной погрешности измерения $\arg S_{11}$, град
90,34	3–11, 3–12	-75,2	-79,6	-4,4	90,34	± 6,0
100,00	и	-90,0	-94,2	-4,2	100,00	
110,14	3–21,3 –22	-104,6	-108,99	-4,39	110,14	
90,34	3–11, 3–12	-150,4 (209,6)	-150,09	0,31	90,34	± 6,0
100,00	и	-180,0 (180)	176,84	-3,16	100,00	
110,14	3–31, 3–32	-209,2 (150,8)	151,56	0,76	110,14	

Векторный анализатор цепей, являясь измерительным прибором, метрологически обеспечен соответствующей методикой и средствами калибровки.

ВАТТМЕТР ПОГЛОЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ СВЧ ДИАПАЗОНА

О.В. ДОНИЦКОВ, А.П. БЕЛОШИЦКИЙ, А.В. ГУСИНСКИЙ, А.Н. ЛУФЕРОВ,
А.В. ВОРОШЕНЬ, В.К. ДЕМИДОВИЧ

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

В процессе проектирования, изготовления и эксплуатации СВЧ устройств и систем наиболее частым измеряемым параметром является мощность. Современный уровень развития СВЧ аппаратуры для измерения мощности предполагает использование приборов, обладающих широкополосностью, высокой точностью и возможностью автоматизации процессов калибровки и измерений. Таким образом, разработка ваттметра поглощаемой мощности СВЧ диапазона является актуальной и важной научно-технической задачей, решение которой позволит освоить производство новых современных образцов отечественной СВЧ измерительной техники. В докладе рассматриваются принцип действия, схема и основные метрологические характеристики ваттметра поглощаемой мощности СВЧ диапазона, разработанного в Центре 1.9 НИЧ БГУИР.

Ключевые слова: измерения, ваттметр, мощность, сверхвысокие частоты.

В основу работы прибора положен принцип преобразования мощности СВЧ сигнала в тепловую энергию с последующим измерением термо-э.д.с. на выходе преобразователя СВЧ ваттметра, которая пропорциональна падающей на него мощности СВЧ сигнала.

Структурная схема ваттметра приведена на рис. 1.

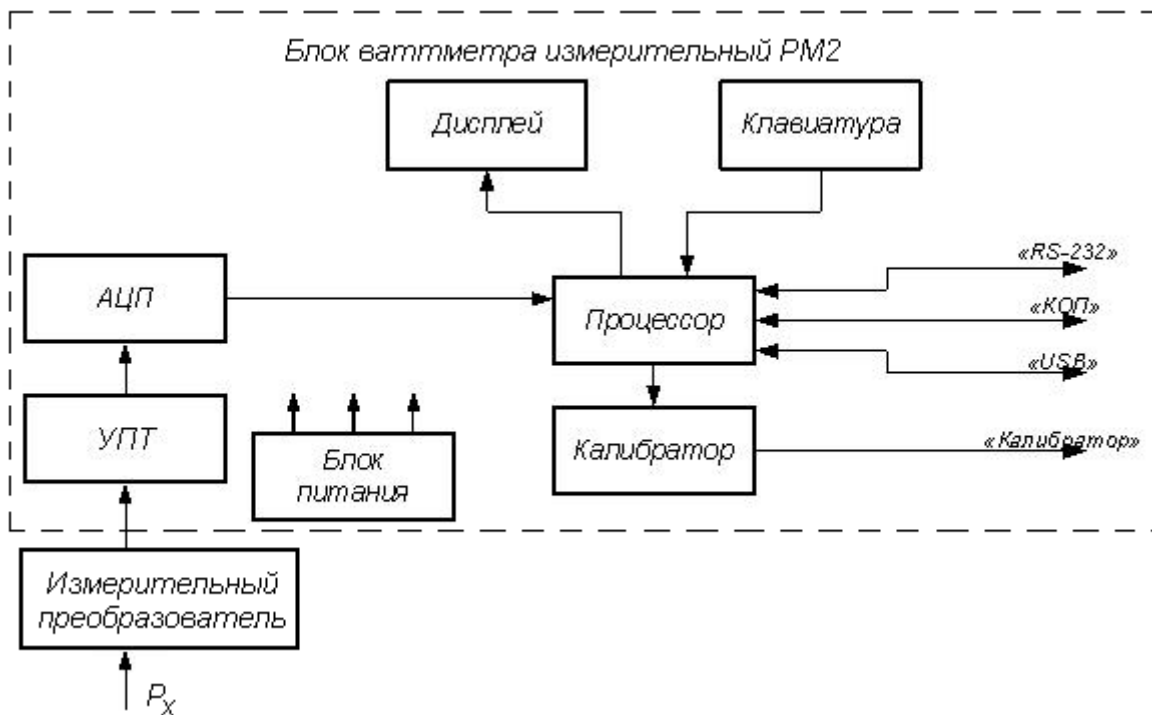


Рис. 1. Структурная схема ваттметра

В преобразователе СВЧ происходит преобразование мощности входного СВЧ сигнала, подлежащей измерению, в напряжение постоянного тока, пропорциональное величине измеряемой мощности.

В зависимости от диапазона частот, в котором проводятся измерения (0,01 – 17,85; 17,44 – 25,86; 25,86 – 37,5 ГГц) используется один из трех преобразователей входящих в состав ваттметра.

Калибратор формирует высокостабильный сигнал синусоидальной формы частотой 50 МГц, мощностью 1 мВт.

Внешний вид ваттметра представлен на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид ваттметра

Ваттметр имеет следующие метрологические характеристики:

- диапазон рабочих частот: 0,01 – 37,5 ГГц;
- пределы измерения мощности: 1 мкВт – 10 мВт;
- разрешающая способность ваттметра 0,1 мкВт;
- пределы допускаемой основной погрешности измерения мощности, не более

$$\delta = \pm \left[6 + 0,1 \cdot \left(\frac{P_k}{P_x} - 1 \right) \right], \% \quad (1)$$

где P_k – конечные значения пределов измерения (10 мкВт, 100 мкВт, 1 мВт, 10 мВт);
 P_x – показания ваттметра.

Ваттметр успешно прошел Государственные приемочные испытания, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под номером РБ 0313513013 и допущен к применению в Республике Беларусь (сертификат № = 8509 от 28.05.2013 г.)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А.А. ПОДОЛЯН

*Национальный технический университет Украины «КПИ»
пр-т Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина
podoljan@i.ua*

Среди существующих бесконтактных методов неразрушающего контроля промышленного оборудования особое место занимает электромагнитно-акустический (ЭМА) метод. Исследование формирования акустических колебаний ЭМА методом позволит повысить эффективность ультразвуковой дефектоскопии по достоверности и скорости контроля.

Ключевые слова: электромагнитно-акустический метод, акустическое давление, ЭМА.

Рассмотрена нить-излучатель, по которой течёт ток по гармоническому закону с частотой f на расстоянии h (рис. 1) от электропроводящей поверхности в воздушной среде, с некоторыми допущениями [1]. В результате протекания тока по нити, индуцируются вихревые токи. Электродинамическое взаимодействие первичного и наведенного токов приводит к появлению давлений на исследуемой поверхности. Эффективность ЭМА метода повышается при наличии внешнего магнитного поля [2]. Многочисленные экспериментальные исследования процессов возбуждения и приёма нормальных волн ЭМА методом [3], позволили выявить оптимальное значение внешнего магнитного поля при контроле различных объектов из ферромагнитной стали.

На основании выражений, описывающих закон распределения давлений на исследуемой поверхности под нитью-излучателем [1] смоделировано влияние различных факторов (величины тока нити I_0 , значения внешнего магнитного поля B_{\perp} , расстояния h от нити и решетки до поверхности объекта контроля) на создаваемое акустическое давление p непосредственно под нитью (рис. 1–3).

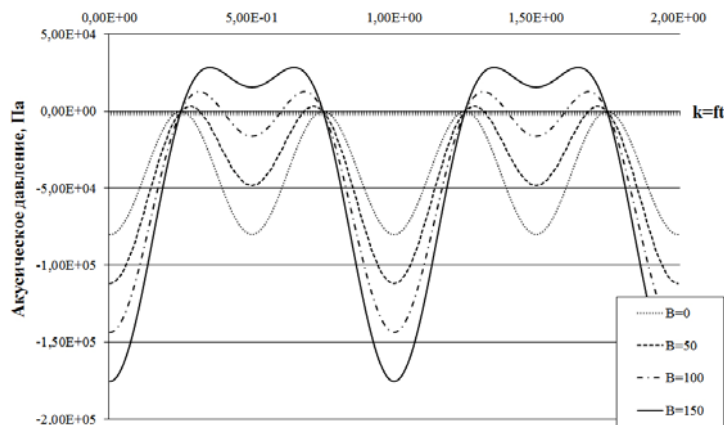


Рис. 1. Семейство зависимостей $p(t)$ при различных значениях индукции B_{\perp} ,

$$I_0 = 2 \text{ A}, \quad h = 1 \text{ мм}, \quad f_i = 0,5 \text{ МГц}$$

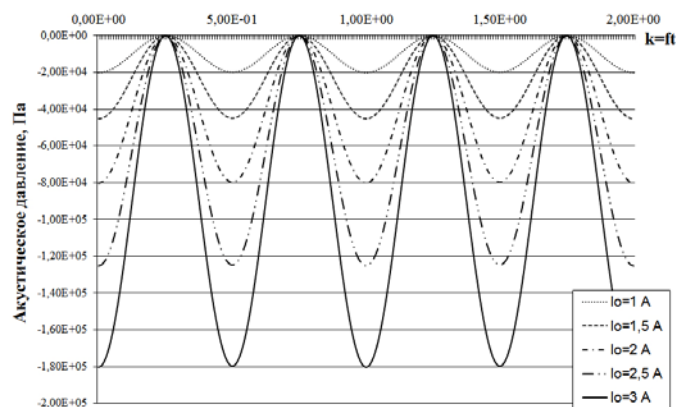


Рис. 2. Семейство зависимостей $p(t)$ при различных значениях амплитуды тока I_0 ,
 $B_{\perp} = 0,3 \text{ Тл}$, $h = 1 \text{ мм}$, $f_i = 0,5 \text{ МГц}$

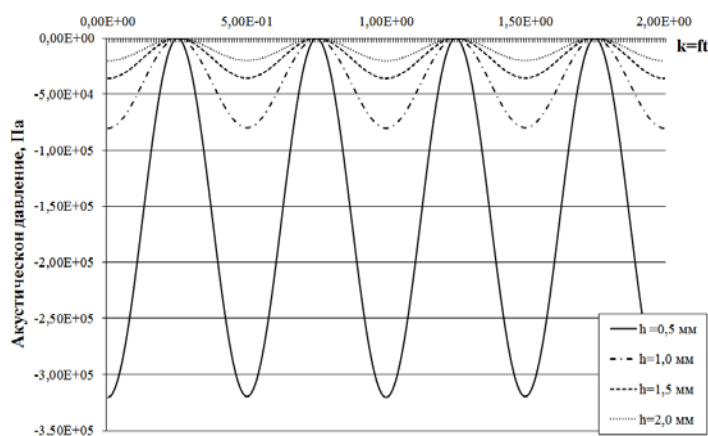


Рис. 3. Семейство зависимостей $p(t)$ при различных значениях расстояния h ,
 $B_{\perp} = 0,3 \text{ Тл}$, $I_0 = 2 \text{ А}$, $f_i = 0,5 \text{ МГц}$

Приведенные исследования устанавливают связь между акустическим давлением на поверхность пространства с током нити и её расположением. Максимальное акустическое давление создается непосредственно под нитью. При удалении от этой линии и с увеличением расстояния h давление резко падает. С ростом величины тока давление растет.

В результате исследований с помощью математического моделирования проанализировано влияние различных факторов. Показано оптимальное значение магнитной индукции внешнего постоянного магнитного поля для контроля ЭМА методом. Представлен расчет давлений, создаваемых нитью на поверхности контролируемого объекта.

Список литературы

1. Сазонов Ю.И., Шкарлет Ю.М. // Дефектоскопия. 1969. №5. С. 2–6.
2. Подольян А.А. // Методы и приборы контроля качества. 2006. №17. С.18.
3. Малинка А.В., Драпкин И.А., Колмогоров Н.Т. // Дефектоскопия. 1972. №4. С. 44–48.

ВЫБОР КУПОЛЬНОЙ ПОВОРОТНОЙ IP-ВИДЕОКАМЕРЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЯ

А.А. БОРЕЙКО¹, В.М. АЛЕФИРЕНКО²

*¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
¹boreikko@mail.ru; ²alefirenko@bsuir.by*

Для создания эффективной системы видеонаблюдения немаловажным фактором еще на стадии проектирования является выбор оборудования. Выбор компонентов систем безопасности может осуществляться с помощью комплексных показателей качества изделия. В статье рассмотрен выбор купольной поворотной IP-видеокамеры с использованием метода комплексной оценки уровня качества изделия.

Ключевые слова: безопасность, система видеонаблюдения, компоненты, видеокамеры, технические характеристики, показатели качества.

В настоящее время видеонаблюдение стало неотъемлемой функцией комплексной системы безопасности объекта, поскольку современное оборудование видеонаблюдения позволяет не только наблюдать и записывать видео, но и программировать реакцию всей системы безопасности при возникновении тревожных событий.

Для создания эффективной системы видеонаблюдения немаловажным фактором еще на стадии проектирования является выбор оборудования. Анализ представленных на рынке моделей технических средств систем безопасности показал, что они характеризуются различным числом определяющих параметров. При большом числе параметров, имеющих различные значения, представляется затруднительным выбор конкретных моделей технических средств необходимых для построения оптимального состава системы видеонаблюдения. Для решения этой задачи может использоваться комплексный метод определения уровня качества изделий с использованием единичных показателей. В качестве единичных показателей могут использоваться значения параметров технических средств.

Основное достоинство поворотных купольных видеокамер состоит в том, что они позволяют контролировать телесный угол пространства, который может дистанционно изменяться оператором, как по значению, так и по направлению, поочередно охватывая наблюдением различные части сканируемого охраняемого пространства, исключая возникновение мертвых зон. Данный тип видеокамер является наиболее интересным для рассмотрения, так как его применение долгое время было ограничено.

Выбор конкретных моделей видеокамер осуществлялся комплексным методом определения уровня качества изделия. Для определения комплексных показателей качества, согласно [1], необходимо выполнить следующие этапы: провести преобразование параметров, выраженных несколькими числовыми значениями в параметры, выраженные одним числовым значением; провести нормирование значений параметров; назначить параметрам коэффициенты значимости; провести нормирование значений коэффициентов значимости; провести расчет комплексных показателей качества; провести анализ и оценку полученных результатов.

Для анализа были выбраны следующие модели видеокамер ведущих производителей: №1 3S Vision N5012; №2 ACUMEN AiP-Y34H-03N2B; №3 AVTECH AVM571;

№4 AXIS Q6035-E; №5 Beward BD135; №6 Brickcom OSD-200A; №7 Etrovision EV8280U-MD; №8 Everfocus EPN4220; №9 Evidence Apix-18ZDome/M2 EXT; №10 Hikvision DS-2DF5286-A; №11 Rvi IPC52DN20; №12 VIVOTEK SD8362E. В качестве исходных параметров использовались основные технические характеристики видеокамер, которые предварительно были разделены на 3 группы по степени их важности с целью более точного определения коэффициента значимости каждого параметра. К первой группе были отнесены следующие параметры: число форматов сжатия изображения; размер матрицы; минимальное и максимальное фокусное расстояние объектива; минимальная светосила объектива; оптическое увеличение; диапазон наклона; максимальные скорости панорамирования, наклона и предустановки. Ко второй группе были отнесены такие параметры как: минимальная и максимальная скорость затвора; скорость записи; минимальные уровни освещенности днем и ночью; число поддерживаемых протоколов. К третьей группе – эксплуатационные параметры: потребляемая мощность; минимальная и максимальная рабочая температура; габаритные размеры (диаметр и высота купола); вес. Коэффициенты значимости каждого параметра определялись экспертным методом.

Результаты расчетов комплексных показателей качества, проведенные с использованием средневзвешенных арифметического и геометрического показателей для каждой видеокамеры, представлены на рис. 1, на котором номер столбца диаграммы соответствует номеру модели рассматриваемых в тексте видеокамер.

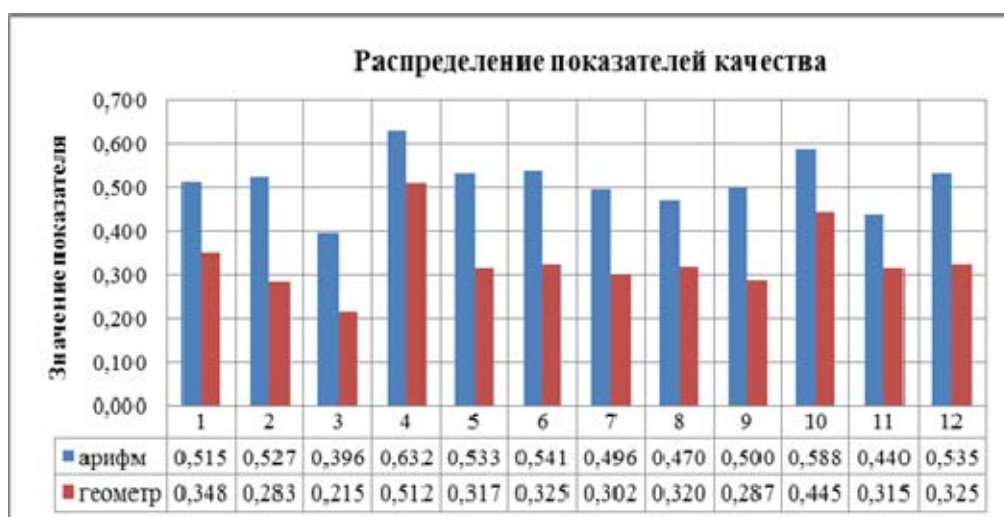


Рис.1. Диаграмма распределения показателей качества видеокамер

Из диаграммы видно, что наилучшими характеристиками обладает видеокамера AXIS Q6035-E. Полученные результаты показали, что предложенный метод позволяет объективно оценить параметры видеокамер и выбрать наиболее удачный вариант для внедрения на объекте и реализации эффективной системы видеонаблюдения.

Список литературы

1. *Алефиренко В. М.* // Материалы междунар. НПК «Актуальные проблемы радиоэлектроники: научные исследования, подготовка кадров». Минск, 2-3 июня 2005 г. Часть 2. С. 12–17.

КАЛИБРОВКА И ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ФЛУКТУАЦИЙ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ

А.Я. БЕЛЬСКИЙ¹, А.В. ГУСИНСКИЙ², А.М. КОСТРИКИН

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
¹belskiay@bsuir.by, ²gusinski@bsuir.by

Приводится схема, позволяющая получить калиброванный индекс модуляции, а также схема и методика измерения частотных (фазовых) флуктуаций.

Ключевые слова: модуляция, индекс модуляции, флуктуация, спектр.

В ряде случаев при проведении измерений и испытаний радиоэлектронной аппаратуры определенного назначения появляется необходимость использовать модуляторы с заданным с высокой точностью индексом модуляции. Для проведения, например, калибровки измерителей флуктуаций используются разнообразные методы, которые имеют свои достоинства и недостатки. Наиболее точным считается метод нулей функций Бесселя [1, 2]. Обращение в нуль компоненты с центральной частотой происходит при индексах модуляции $m_{\text{ФМ(ЧМ)}}=2,4048; 5,5201; 8,5537$ и т.д. Поскольку модулирующая частота может быть измерена с очень высокой точностью, отмеченные индексы угловой модуляции могут быть опорными.

В нашем случае разработана схема, позволяющая осуществлять как фазовую, так и амплитудную модуляцию СВЧ сигнала с заданным индексом модуляции (рис. 1).

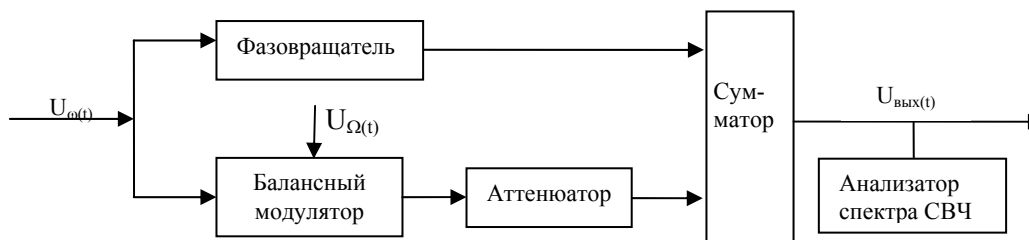


Рис. 1. Структурная схема модулятора

Сигнал несущей частоты $U_{\omega(t)}$ разделяется на два канала: в одном канале регулируется только его фаза, в другом осуществляется амплитудная модуляция с помощью балансного модулятора и регулируется уровень с помощью аттенюатора. После этого немодулированный и модулированный сигналы суммируются. Спектр выходного сигнала описывается выражением [3] вида

$$U_{\text{вых}}(t) = U_{\omega m} \sqrt{1 + m^2 U_{\Omega}^2(t)} \times \cos(\omega t - \arctg m U_{\Omega}(t)) \quad (1)$$

где $U_{\omega m}$ – амплитуда немодулированного сигнала; m – коэффициент амплитудной модуляции; $U_{\Omega(t)}$ – амплитуда модулирующего колебания.

Изменяя амплитуды сигналов в каналах и фазовые соотношения между ними, можно получить либо амплитудную, либо фазовую модуляцию, или смешанный вид модуляции. Такой модулятор использован в двухканальном измерителе флуктуаций, схема которого приведена на рис. 2. Индекс модуляции фазомодулированного сигнала определяется путем измерения постоянной и переменной составляющей на выходе фазового детектора измерителя флуктуаций:

$$m_{\phi} = \frac{U_{\text{ск}}}{U_n} \quad (2)$$

где m_ϕ – индекс фазовой модуляции; $U_{ск}$ – среднеквадратическое напряжение переменной составляющей; $U_{п}$ – напряжение постоянной составляющей.

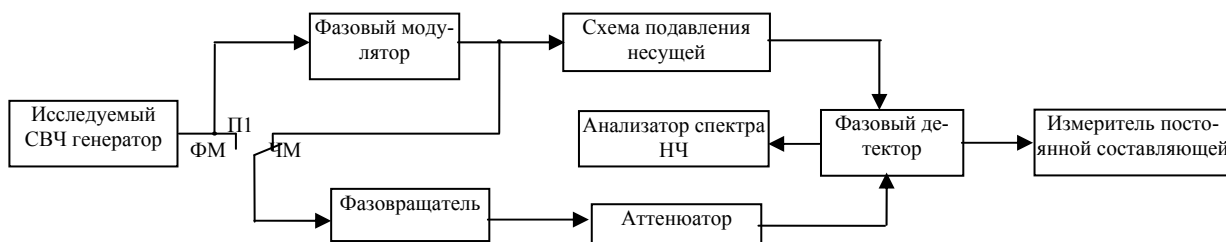


Рис. 2. Структурная схема измерителя флуктуаций

Измерение флуктуаций происходит следующим образом. Вначале переключатель переводится в положение «ФМ» и проводится калибровка модулятора. Для этого устройство подавления несущей расстраивается, и вся схема работает как фазовый детектор. Величина индекса фазовой модуляции определяется путем измерения постоянной и переменной составляющих на выходе фазового детектора в соответствии с выражением (2). После этого переключатель переводится в положение «ЧМ», схема подавления несущей настраивается на частоту исследуемого сигнала, т.е. вся схема превращается в частотный дискриминатор. С помощью низкочастотного анализатора спектра измеряется уровень калибровочного сигнала, величина которого обусловлена уже найденным индексом угловой модуляции. Затем модуляция снимается и находится индекс модуляции, обусловленный шумовым сигналом, путем сравнения калибровочного и шумового сигналов.

Таким образом, относительный уровень мощности частотных флуктуаций находится по следующей формуле:

$$\left(\frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{чм} = \frac{m_\phi^2 \bar{U}_{ш.ск}^2}{2U_{\sim к}^2} \cdot \frac{F_k^2}{F_{ш}^2} \quad (3)$$

где $\bar{U}_{ш.ск}$ – величина уровня напряжения шумов; $U_{\sim к}$ – величина уровня калиброванного сигнала; F_k – частота модулирующего сигнала; $F_{ш}$ – частота сигнала паразитной шумовой модуляции, т.е. в выражении (3) учитывается тот факт, что индекс частотной модуляции зависит от частоты шумового сигнала $F_{ш}$.

Относительная спектральная плотность мощности частотных шумов может быть рассчитана следующим образом:

$$S(F)_{чм} = 10 \lg \frac{m_\phi^2 S_{Uш}(F_{ш}) F_k^2}{2U_{\sim к}^2 F_{ш}^2} \quad (4)$$

где $S_{Uш} = \bar{U}_{ш.ск}^2 / \Delta F$ – спектральная плотность шума, выраженная в В²/Гц.

Основными причинами погрешностей являются: неравномерность АЧХ и нелинейность ФЧХ измерительного тракта (чаще всего анализатора спектра), паразитная амплитудная модуляция, нелинейные искажения, конечное значение динамического диапазона анализатора спектра и нелинейность его амплитудной характеристики.

Список литературы

1. Павленко Ю.Ф., Шпаньон П.А. Измерение параметров частотномодулированных колебаний. М., 1986.
2. Ashley J.R., Searles C.B. The measurement of oscillator noise at microwave frequencies. IEEE Transactions on microwave and Techniques, vol. MTT-1, № 9, 1968.
3. Каяцкас А.А. Основы радиоэлектроники. М., 1988.

ДВУХКОНТУРНЫЙ ГДГ, СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ДИСПЕРСИОННЫМ РЕЗОНАТОРОМ

А.Я. БЕЛЬСКИЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
gusinski@bsuir.by

Приводится эквивалентная схема генератора на диоде Ганна, стабилизированного двухконтурной СВЧ системой: первый контур – низкодобротный, в котором установлен активный элемент, а второй – более высокодобротный, стабилизирующий, связанный с первым с помощью устройства связи. Составлена система уравнений, решение которой позволяет определить такие параметры, как полоса захвата и коэффициент стабилизации частоты. Проводится анализ результатов экспериментальных исследований стабилизированного генератора при воздействии дестабилизирующих факторов.

Ключевые слова: генератор, частота, стабильность.

Наряду с одноконтурными генераторами [1, 2], выполненными, например, на активных двухполюсниках, часто используются для повышения стабильности частоты двухконтурные, несмотря на их большую сложность. Первый контур этой системы резонаторов может иметь невысокую добротность и хорошо согласуется с активным элементом и внешней нагрузкой. Вместе с тем низкодобротный контур связывается с помощью устройств связи со вторым резонатором, который имеет значительно большую добротность и обеспечивает высокую стабильность частоты колебаний. В данной работе рассматривается случай, когда в качестве второго контура используется резонатор на основе отрезка дисперсионного волновода и определяются основные характеристики двухконтурной системы.

Эквивалентная схема генератора со связанными контурами представлена на рис. 1, где G_d и B_d – активная и реактивная составляющие проводимости нелинейного частотнозависимого элемента; $G_1 = G_S + G_{ВН}$, $B_1 = B_S + B_{ВН}$, G_S и B_S – активная и реактивная частотнозависимые составляющие проводимости первого контура при отсутствии связи между контурами, G_1, B_1 – активная и реактивная составляющие проводимости первого контура при наличии связи между контурами, $G_{ВН}$ и $B_{ВН}$ – активная и реактивная составляющая проводимости, вносимые в первый контур при наличии связи между контурами; G_2 и B_2 – активная и реактивная составляющая проводимости стабилизирующего резонатора; \dot{U}_z – амплитуда колебаний на первом контуре, \dot{Y}_{CB} – проводимость устройства связи.

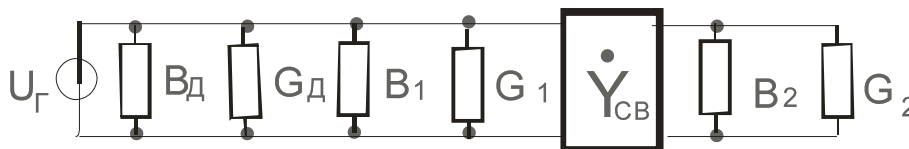


Рис. 1. Эквивалентная схема генератора со связанными контурами

Если в качестве стабилизирующего используется резонатор на основе отрезка короткозамкнутого волновода, то на основании [1] будем иметь

$$\partial B_{BH} / \partial \varpi = \frac{al}{240\pi bc} (1 + \text{ctg}^2 \beta l) \quad (1)$$

где a, b, l — ширина, высота и длина волновода соответственно,
 c - скорость света,
 β - постоянная распространения.

Отношение полос пропускания контуров нестабилизированного $\Delta\omega_s$ и стабилизированного $\Delta\omega_1$ генераторов приближенно определяет коэффициент стабилизации частоты

$$K_{\text{Ст.ф}} \approx \frac{\Delta\omega_s}{\Delta\omega_1} \approx \frac{\partial B_{BH} / \partial \omega}{\partial B_s / \partial \omega} \cdot \frac{G_s}{G_2} \quad (2)$$

Результаты расчетов показаны на рис. 2, где $f_{\text{кр}}$ - критическая частота волновода.

Данные экспериментальных исследований нестабилизированного и стабилизированного дисперсионным [1, 2] резонатором приведены на рис. 3. Штрихпунктирная линия соответствует нестабилизированному генератору, сплошная кривая – генератору, стабилизированному дисперсионным резонатором ($f_{\text{кр}} / f = 0,96$). Результаты экспериментальных исследований показали, что коэффициент стабилизации частоты составлял величину 30...50, что хорошо согласуется с результатами расчетов (рис. 2). В проведенных экспериментах использовались серийные диоды Ганна.

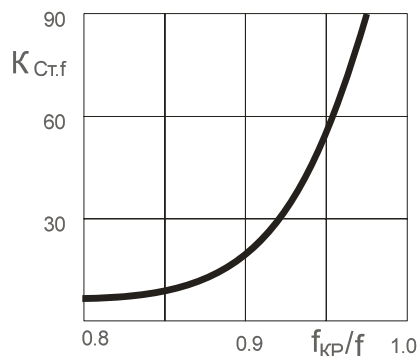


Рис. 2. Зависимость коэффициента стабилизации частоты от отношения $f_{\text{кр}}/f$

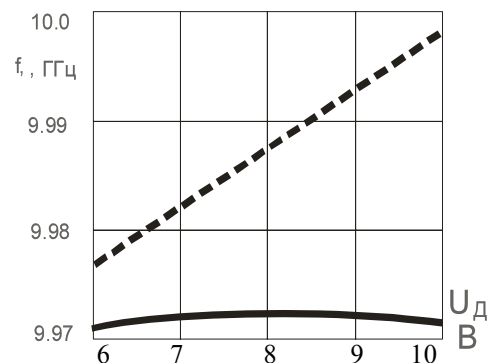


Рис. 3. Перестроенные характеристики генераторов в зависимости от напряжения смещения

Таким образом, показана возможность применения дисперсионного резонатора в системе связанных контуров, что обеспечивает высокую стабильность частоты и низкий уровень (фазовых) частотных шумов генераторов. В качестве низкодобротного контура можно использовать также резонансные окна, штыри, полосковые резонаторы и другие СВЧ устройства.

Список литературы

1. *Муравьев В.В., Савельев В.Я., Бельский А.Я.* Возможность значительного повышения стабильности частоты генераторов на диодах с отрицательным сопротивлением // Изв. ВУЗов СССР. Радиоэлектроника, т. 17, № 8, 1974. - с. 88-90.
2. *Бельский А.Я.* Особенности обеспечения устойчивого режима работы стабильных ГДГ в области сильной дисперсии // Радиотехника и электроника. – Минск: Выш. Шк., 1994. – Вып. 22. – С. 56–60.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОВОЛНОВОГО УРОВНЕМЕРА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ЗОНДИРУЮЩИЙ СИГНАЛ СО СЛОЖНЫМ ЗАКОНОМ МОДУЛЯЦИИ

В.Е. САМОНОВ¹, А.В. ГУСИНСКИЙ¹, А.И. ВОЛКОВЕЦ¹, А.М. КОСТРИКИН¹,
Н.М. СЛЮСАРЬ²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
sve_69@tut.by, gusinski@bsuir.by, volk@tut.by

²Военная академия Республики Беларусь
пр-т Независимости, 220, г. Минск, 220057, Республика Беларусь

В современных условиях все большее применения находят бесконтактные радиоволновые устройства и приборы для измерения различных параметров динамических объектов – вращения, движения, вибраций. Достаточно давно радиоволновые устройства применяются для измерения уровней жидкостей и сыпучих материалов. Предложен новый способ построения радиоволнового уровнемера на основе использования частотно-модулированного зондирующего сигнала и цифровой квадратурной обработки отраженного сигнала в DSP процессоре. Предложенный способ построения радиоволнового уровнемера позволяет повысить точности измеряемого расстояния при упрощении конструкции уровнемера.

Ключевые слова: радиоволновые измерения, радиоволновой уровнемер, СВЧ.

В последнее время наблюдается активное развитие направления по исследованию и разработке радиоволновых сверхвысокочастотных радиоэлектронных систем для решения вопросов по технической диагностике машин и механизмов. При этом одной из актуальных задач является повышение точности измерений при условии упрощения приборов и снижения их стоимости. Заинтересованность в развитии данного направления заключается в том, что данные измерения производятся бесконтактным способом, что позволяет не воздействовать на исследуемый объект, а также позволяет производить измерения в неблагоприятных условиях, например в агрессивных средах.

Другая задача, которая успешно решается с помощью радиоволновых устройств – это измерение уровня жидкостей, либо сыпучих материалов в замкнутых объемах. Первые устройства, позволяющие решать эту задачу были запатентованы в конце пятидесятых годов прошлого века [1]. В настоящее время запатентованы и выпускаются радиоволновые уровнемеры. Так известны радиолокационные уровнемеры типа RTG2920, RTG2930, RTG2940, RTG2960 фирмы “SAAB TANK CONTROL”, Швеция [2]. В основу этих уровнемеров положен способ измерения дальности, использующий непрерывное излучение частотно-модулированного сигнала [3].

Известны также уровнемеры фирмы “Вега” (Германия) [4], использующие импульсный метод измерения дальности с применением “особого способа “трансформации времени”, позволяющего “растянуть” во временном интервале эхо-картину для подробного ее анализа”. Недостатком данных уровнемеров является сравнительно большая погрешность измерения – 0,1 % при диапазоне измерения уровней 20 м, что соответствует абсолютной погрешности ± 20 мм.

Данный показатель значительно хуже, чем у уровнемеров фирмы “SAAB TANK CONTROL”, которая гарантирует погрешность не более ± 1 мм.

Излучаемая полоса радиочастот в уровнемерах как фирмы “Вега” (длительность импульса передатчика 1 нс), так и фирмы “SAAB TANK CONTROL” примерно одинакова – 1000 МГц.

Известен “Радиолокационный уровнемер РЛУ-1” (ОАО, Уральское проектно-конструкторское бюро “Деталь”), в котором реализовано устройство по патенту №2176382 “Радиолокационный импульсный рециркуляционный импульсный уровнемер” [5]. В данном уровнемере гарантируется погрешность не более ± 10 мм при полосе радиосигнала около 300 МГц (длительность импульса передатчика 3...4 нс). Очевидно, что потенциальные точностные возможности в уровнемере РЛУ-1 реализуются лучше, чем в уровнемерах фирмы “Вега”, но хуже, чем в уровнемерах фирмы “SAAB TANK CONTROL”.

Приведенные выше приборы функционируют на основе построения классических радиоволновых устройств – радиовысотомера малых высот, либо канала измерения дальности классического радиолокатора. Из теории радиолокации известно, что потенциальная точность измерения дальности, а соответственно и уровня определяется шириной спектра зондирующего сигнала, чем и определена потенциальная точность измерения расстояния, реализованная в уровнемерах фирмы “SAAB TANK CONTROL”.

Предлагаемый способ построения радиоволнового уровнемера, использующего зондирующий сигнал со сложным законом модуляции, основан на условии возбуждения гармонического колебания. Способ основан на измерении диапазона девиации ЛЧМ сигнала ΔF , при котором изменение набега фазы несущего колебания f_0 от раскрытия приемопередающей антенны до измеряемой поверхности и обратно составляет 2π . Периодическое изменение частоты несущего колебания от f_0 до $f_0 + \Delta F$ с периодом T_{Π} обеспечит формирование на выходе балансного смесителя спектральной составляющей на частоте F_{Π} . При точном выполнении условия, когда за счет девиации частоты несущего колебания периодически обеспечивается набег фазы 2π , обеспечивается условие формирования гармонической составляющей только на промежуточной частоте F_{Π} . От точности выполнения данного условия, обеспечивается формирование гармонической составляющей на частоте F_{Π} , без гармонических составляющих nF_{Π} , где $n = 2, 3 \dots \infty$. Способ измерения уровня до поверхности заключается в пошаговом изменении уровня девиации ΔF и контроле за отсутствием 2 и 3-й гармонических составляющих промежуточной частоты F_{Π} . Технический результат заключается в упрощении конструкции уровнемера и в повышении его точности.

Список литературы

1. Способ автоматического контроля уровня жидкости, основанный на отражении от жидкости волн сантиметрового диапазона: патент СССР, 114815, G01F23/284 / Бродский В.Б.; Заявл. 12.10.1957 №584414.
2. «Сертификат утверждения типа средств измерения PN39», уровнемеров радарных RTG2920, RTG2930, RTG2940, RTG2960, изготовленных фирмой “SAAB TANK CONTROL”, Швеция. Зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под №13490-92 9 декабря 1992 г.
3. *Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С.* “Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин”. - М.: наука, 1973, с.72, с.150, с.132.
4. “Бесконтактные измерения уровня при высоких температурах”. Журнал “Законодательная и прикладная метрология”, №1, 2001.
5. “Радиолокационный импульсный рециркуляционный уровнемер”. Российская федерация, патент на изобретение №2176382, приоритет от 05.07.2000 г. (авт. Балло А.Г., Самосадко Д.Ф., Козлов А.Р.).

ОБРАБОТКА ДАННЫХ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID

Д.В. ХРОЛОВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
undead_gtr@mail.ru*

Развитие технологий требует внедрения новой энергетической инфраструктуры передачи и распределения в электрических сетях, которая интегрирует продвижение в коммуникациях, компьютерных системах и электронике для обеспечения требований энергетики будущего. Важную область такой системы занимают протоколы передачи данных, основанные на web-технологиях. Одним из таких протоколов является CRQ-интерфейс, который позволяет представить как единый виртуальный контроллер сложную систему, построенную на программно-технических комплексах, со своими СУБД, поставщиками данных (серверами опроса), обеспечивающими работу с разнородными контроллерами.

Ключевые слова: электрические сети, коммуникационный протокол, HTTP, Java, Delphi.

Технология Smart Grid подразумевает объединение электрических сетей потребителей и производителей электроэнергии в единую автоматизированную систему, которая в реальном времени позволяет отслеживать, контролировать и управлять режимами работы всех участников процесса выработки, передачи и потребления электроэнергии. Интеллектуальная электрическая сеть позволит повысить надежность электроснабжения, безотказность работы энергосистемы, увеличить эффективность расхода энергоресурсов с сохранением требуемых параметров качества электрической энергии, а также улучшить экологическую обстановку, благодаря увеличению доли использования нетрадиционных источников энергии.

Для обмена информацией в энергосетях существуют различного рода коммуникационные протоколы. Технологии обмена данными сегодня являются составной частью систем защиты и контроля энергосетей. Одним из протоколов передачи данных, основанный на технологии клиент-сервер, и являющегося частью системы диспетчерского контроля и сбора, является CRQ-интерфейс.

CRQ — коммуникационный протокол, работающий поверх HTTP или HTTPS. Все запросы используют методы GET или POST. Для всех запросов методом GET используется URL следующего вида:

`http://<hostname>/crq?req=<reqname>[<params>]`

где reqname — тип запроса, params — список дополнительных аргументов в общепринятом для CGI формате.

В запросах методом POST список аргументов передается в теле запроса. Все запросы при успешном выполнении возвращают код 200 в HTTP-ответе, там же содержится либо запрошенная информация, либо сообщение о выполнении запроса.

Сервер передачи данных на основе протокола занимает промежуточное место между низкоуровневыми системами сбора и передачи данных и высокоуровневыми серверами опроса и хранения информации. На его основе может быть создана единая сеть передачи данных, включающая постоянное подключение через глобальную сеть

Интернет, локальные сети предприятий или использовать радиоканалы для локальных систем. Структурная схема данной системы представлена на рис. 1.

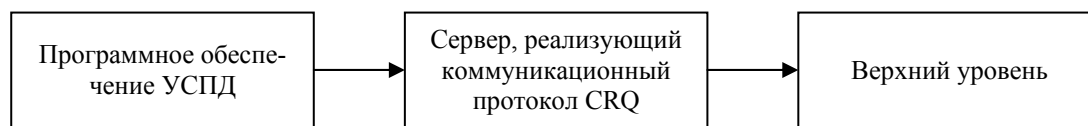


Рис. 1. Структурная схема межуровневой системы

Для реализации протокола было использовано два языка программирования: для высокопроизводительных систем – Java, для ресурсограниченных систем – Delphi.

Сервер на Java основан на технологии сервлетов. Сервлет является Java-интерфейсом, реализация которого расширяет функциональные возможности сервера. Его работа основана на взаимодействии с клиентами посредством принципа запрос-ответ. Для соединения с базой данных использовался платформенно-независимый промышленный стандарт взаимодействия JDBC, реализованный в виде пакета java.sql.

Сервер на языке Delphi разработан на основе компонента из пакета Indy idHTTPServer, предназначенного для построения HTTP-сервера. Основа работы приложения связана с событием IdHTTPServerCommandGet, входными параметрами которого является класс запроса ARequestInfo и класс ответа AResponseInfo. Параметр ARequestInfo содержит информацию о запрашиваемых данных, а AResponseInfo используется для передачи результата выполнения запроса.

В качестве базы данных используется свободная система управления базами данных Firebird, работающая на Linux, Windows и разнообразных Unix платформах.

Ответ каждого из серверов на запрос от высокого уровня предоставляет собой текстовый формат, предназначенный для представления табличных данных CSV с заголовками (с точки зрения протокола HTTP это данные типа text/plain). Пример ответа в формате CSV для показаний текущей электроэнергии для четырех каналов представлен на рис. 2.

```
ShortChanName, Time, Value, State
B61, 04-10-2012 15:47:08.436w, 258932300, 0
B62, 04-10-2012 15:47:08.436w, 113165448, 0
B63, 04-10-2012 15:47:08.436w, 23969748, 0
B64, 04-10-2012 15:47:08.436w, 362771640, 0
```

Рис. 2. Пример ответа в формате CSV

Таким образом, была решена задача обмена данными на основе коммуникационного протокола CRQ, а использование HTTP в качестве основы протокола позволило применять для визуализации данных современные Интернет-браузеры.

Испытания серверов проходили на предприятии электроэнергетики РУП «Минскэнерго». Оба сервера проявили себя как два стабильных программных продукта, полностью удовлетворяющих требования протокола.

Список литературы

1. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М., 2010.
2. Фленов М. Библия Delphi. М., 2011.

УСТРОЙСТВО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДУКТОВ НЕЛИНЕЙНОСТИ В ТРАКТАХ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Е.К.КАРПУК, А.А.ПИЛЮШКО

*Военная академия Республики Беларусь
пр-т Независимости, 220, г. Минск, 220057, Республика Беларусь
kek777@mail.ru*

Повышение помехозащищенности цифровых систем передачи является одной из важнейших задач, решаемых специалистами в области телекоммуникаций. В связи с этим большой интерес представляет измерительная техника, которая применяется для анализа систем передачи на предмет защищенности от любого вида помех, в том числе от помех нелинейного происхождения.

Ключевые слова: устройство определения продуктов нелинейности, характеристика преобразования, сигнал пилообразной формы, функциональный преобразователь.

В настоящее время в современных системах передачи широко используются цифровые способы обработки и передачи сигналов (например, OFDM). Это позволяет обеспечить высокую помехозащищенность систем передачи, от величины которой зависят другие не менее важные технико-экономические показатели – пропускная способность и дальность связи. Так как сигнал OFDM является групповым, то при прохождении через нелинейное устройство в нем появятся нелинейные искажения и помехи нелинейного происхождения (продукты нелинейности), которые окажут влияние на все вышеназванные показатели. Поэтому на всех этапах развития цифровых систем передачи (ЦСП) с OFDM сохраняется актуальность борьбы с продуктами нелинейности. Важно отметить, что эффективность борьбы с продуктами нелинейности зависит от точности их определения. В предыдущих публикациях [1] авторами аналитически рассмотрены наиболее распространенные методы определения продуктов нелинейности на выходе функционального преобразователя (ФП) или тракта прохождения сигнала (ТПС). Данные методы не обладают достаточной универсальностью и не позволяют дать всестороннюю и строгую оценку ФП, особенно в тех случаях, когда характеристики преобразования (ХП) этих устройств описываются сложными (не монотонными, а, например, кусочно-линейными) функциями. С целью устранения вышеназванных недостатков авторами был предложен новый универсальный метод определения продуктов нелинейности [2].

Для практической реализации данного метода предлагается устройство определения продуктов нелинейности, представленное на рис. 1.

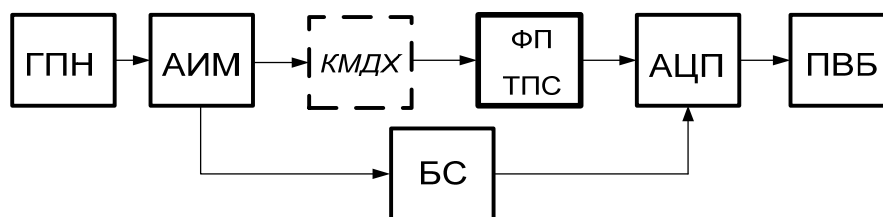


Рис.1. Устройство определения продуктов нелинейности

Устройство состоит из следующих элементов: генератора пилообразного напряжения (ГПН), амплитудно-импульсного модулятора (АИМ), исследуемого ФП/ТПС, аналого-цифрового преобразователя (АЦП), программно-вычислительного блока (ПВБ), блока синхронизации (БС). В случаях, когда необходимо провести коррекцию исследуемого ФП/ТПС, устройство может содержать еще один структурный элемент – корректор мгновенной динамической характеристики (КМДХ).

Принцип работы устройства определения продуктов нелинейности заключается в следующем: с выхода ГПН поступает последовательность пилообразных импульсов на АИМ, работающий с тактовой частотой в N раз ($N \gg 1$) большей, чем частота следования импульсов «пилы». Следует отметить, что чем больше будет частота амплитудно-импульсного модулятора, тем точнее будут результаты в определении продуктов нелинейности. После прохождения через АИМ каждый импульс «пилы» (рис. 2) представляет собой совокупность отдельных, равноотстоящих друг от друга временных отсчетов, причем каждый последующий отсчет выше предыдущего на некоторую постоянную величину $\Delta = (U_{\text{вх max}} - U_{\text{вх min}}) / N$ (шаг квантования).

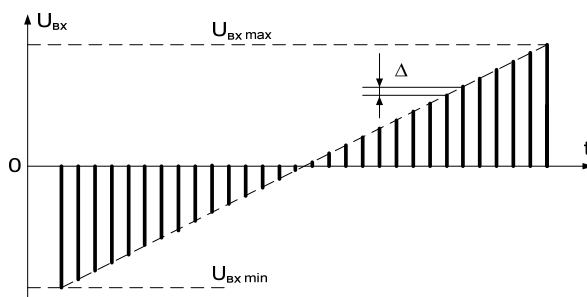


Рис. 2. Испытательный сигнал типа «пила»

Далее полученный сигнал подается на вход ФП/ТПС, с выхода которого поступает на многоуровневый АЦП, предназначенный для получения множества откликов анализируемого ТПС на каждый отсчет входного сигнала. За счет использования БС каждый отклик при этом соответствует входному отсчету с точностью до номера такта. После прохождения через АЦП сигнал, пропорциональный ХП исследуемого ФП/ТПС поступает в ПВБ, реализующий его цифровую обработку. Цифровая обработка включает в себя программное выполнение операций согласно алгоритма, представленного в [2].

Таким образом, предлагаемое устройство обеспечивает определение с высокой точностью продуктов нелинейности на выходе ФП/ТПС с ХП сложной («негладкой») формы при полигармоническом и/или модулированном входном воздействии. При этом не требуется проводить многочисленные и трудоемкие натурные эксперименты по определению продуктов нелинейности в случае изменения параметров входного сигнала с использованием дорогостоящего измерительного оборудования. Также следует отметить, что для цифровой обработки используется стандартное программное обеспечение по расчету коэффициентов Фурье и функций Бесселя.

Список литературы

1. Карпук Е.К., Васильев А.Д. // Тез. докл. междунар. ВНК «Современная военнотехническая политика: проблемы и перспективы». Минск, 21-22 марта 2013. С. 187.
2. Карпук Е.К., Пилюшко А.А. // Матер. VII междунар. НТК «Современные средства связи». Минск, 16-18 октября 2012. С. 50.

CAVITATION IN PULSED AND CONTINUOUS ULTRASOUND FIELDS

N.V. DEZHKUNOV¹, A. FRANCESCUTTO², F. CALLIGARIS², A.V. KOTUKHOV¹

¹*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
6, P. Brovka Str., 220013, Minsk, Republic of Belarus
dny@bsuir.by*

²*Department of Naval Architecture, Ocean and Environmental Engineering
University of Trieste, 34127, Trieste, Italy*

A comparative study of cavitation generated by the high intensity focused ultrasound fields (HIFU) in chopped and continuous ultrasound fields have been undertaken. It has been shown that pulse modulation of the ultrasound field is an effective tool for controlling the dynamics of cavitation zone development, for transient cavitation thresholds increasing and for increasing the efficiency of acoustic energy transformation into shock waves inside and outside bubbles.

Key words: cavitation, pulsed ultrasound, sonoluminescence, cavitation zone development.

A comparative study of cavitation generated by the high intensity focused ultrasound fields (HIFU) in chopped (pulsed) and continuous ultrasound fields have been undertaken. The detailed description of the experimental set-up is given elsewhere [1,2]. The stainless steel cylinder of 10 cm in diameter and 16 cm in height was used as an experimental chamber. The focusing piezoceramic transducer of 65 mm in diameter with a resonance frequency of 720 kHz was mounted at the cell bottom. The hydrophone was placed in the chamber in such a way that its spherical sensitive piezoceramic unit (the diameter of 2 mm and the side thickness of 0.25 mm) was at a distance of 25 mm above the center of the transducer's focal point. Its output (after amplification) is indicated below as H. The central region of the chamber was viewed through a light guide by a photomultiplier. Intensity of the sonoluminescence (SL) and of the hydrophone output were registered by the HP 54601 multichannel memory oscilloscope in the peak mode display regime. In investigations of the influence of pulse period T on SL intensity the value of T was decreased starting from $T = 2000$ ms. The pulse duration τ was changed by increasing τ from 0.1 ms. The reason for changing T and τ in this manner was to decrease, as much as possible, the influence of the previous experiment on the results of the subsequent experiment.

The use of chopped ultrasound permits strongly decrease the rate of cavitation zone development and increase the time delay between the generator switching on and the cavitation appearance. By decreasing ultrasound pulse duration and increasing pulse period we were able to increase this time period up to 10 minutes.

It has been shown that cavitation zone passes through different stages of evolution with either increasing pulse duration t , decreasing pulse period T or increasing driving voltage U . Sonoluminescence (SL) is absent at the first stage, ultrasound absorbance at this stage is not increased in respect to conditions below cavitation threshold. The second stage corresponds to the onset of sonoluminescence and the smooth increase of its intensity. In the third stage, the SL intensity L increases in a sudden manner, what manifests itself through a considerable increase of slopes of the L dependencies on the above parameters (t , T , U) and is accompanied by the synchronous strong increase of the ultrasound absorption in the cavitation zone. Upon further increasing t , decreasing T or increasing U , the SL intensity reaches a

maximum value and then decreases while ultrasound absorption decreases smoothly. From the above results two thresholds of cavitation zone development can be distinguished: the first one is related to the SL appearance and the second - to the sudden increase of the SL intensity, possibly due to an avalanche-like multiplication of cavitation bubbles.

Both the first and the second thresholds are increased as US pulse duration is decreased or pulse period is increased, i.e. as inverse pulse duty ratio N of the pulses is increased. Cavitation noise spectra are changed significantly with the stages of the cavitation zone development. This is indicative that the different regimes of sonification could be identified by spectral analysis of the acoustic emission from the cavitation zone. It should be noted that it is difficult to distinguish stages of cavitation zone development in a continuous ultrasound field.

Decrease of the cavitation activity after achieving L_{\max} (i.e. at high bubble volume concentration) can be induced by the reasons discussed by Dezhkunov et.al., [3] and Leighton [4]. These are bubbles interactions, clustering and screening action of the cavitation field. Thus, with increasing in the density of bubbles, the SL intensity experiences the influence of two competing factors: increase of the number of cavitation events (collapses) per unit time, on one hand, and the decrease of the efficiency of concentrating the energy by bubbles upon collapse, on the other hand.

SL intensity maximum L on $L(t)$ and $L(T)$ dependencies is shifted to lower t and higher T respectively with increasing the ultrasound intensity. In conditions corresponding to maximal cavitation activity SL intensity achieves maximal value at the beginning of the ultrasound pulse and then stays more or less stable. In oversaturation conditions after achieving maximal value it decreases rather quickly with time. For low bubble volume concentrations SL intensity is increased with time during pulse of ultrasound.

Conclusions: pulse modulation of the ultrasound field is an effective tool for controlling the dynamics of cavitation zone development, transient cavitation thresholds and efficiency of acoustic energy transformation into shock waves inside and outside bubbles.

Acknowledgements

The research has been partially supported by the Belarusian Foundation for Fundamental Research and by the University of Trieste.

References

1. *Dezhkunov N.V., Francescutto A, Nikolaev A.L. et. al* // Proceedings XXIV Session of the Russian Acoustical Society, Dependence of the HIFU cavitation activity on ultrasound pulse parameters. 2011. P. 319-323.
2. *Dezhkunov N.V., Francescutto A., Ciuti P. et. al* // Ultrasonics Sonochemistry, Enhancement of sonoluminescence emission from a multibubble cavitation zone 7. 2000. P. 19-24.
3. *Dezhkunov N. V., Iernetti G., Prokhorenko P.P. et. al* // Sonoluminescence and subharmonic generation in a cavitation zone of aqueous sodium chloride solutions, J. of Engineering Physics (USA, translated from Russian) 51. 1986. P. 1052-1057.
4. *Leighton T.G.* Acoustic Bubble. Pergamon Press. London. 650, 1995.