

**РЕЗУЛЬТАТЫ,
ПРЕДСТАВЛЯЕМЫЕ
В ОТЧЕТ РАН ПО РАЗДЕЛУ
«ОСНОВНЫЕ ИСЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ
НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ РАН,
ГОТОВЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ»**

Двухчастотный измеритель атмосферного поглощения в миллиметровом диапазоне волн

Разработан и изготовлен двухдиапазонный (3 и 2 мм) измеритель атмосферного поглощения, предназначенный для мониторинга влагосодержания атмосферы и водозапаса облаков. Патентная защита не планируется.

Субдоплеровский спектрометр мм и суб-мм диапазонов длин волн

Создан спектрометр мм и суб-мм диапазонов длин волн, позволяющий на основе провала Лэмба проводить измерения частот и параметров сверхтонкого расщепления молекул с абсолютной точностью лучше 1 кГц. Достигнутые параметры лучше, чем у зарубежных аналогов. Спектрометр предназначен для прецизионных измерений частот переходов и параметров сверхтонкого расщепления молекул, представляющих интерес при изучении областей звездообразования, а также для чисто фундаментальных исследований. Установка находится на стадии завершения тестовых испытаний и начала регулярных измерений спектров молекул. Патентная защита не планируется.

Элементы суммирования и коммутации квазиоптических потоков диапазона миллиметровых и субмиллиметровых волн

Элементы суммирования и коммутации квазиоптических потоков диапазона миллиметровых и субмиллиметровых волн перспективны для управления мощным СВЧ излучением нагрева и стабилизации плазмы в действующих установках управляемого термоядерного синтеза (УТС): ASDEX-Upgrade, FTU. В случае успешной демонстрации на современных токамаках, эти элементы будут предложены для использования в международном УТС реакторе ITER. Некоторые из новых электродинамических элементов могут представить интерес для мощной радиолокации высокого разрешения.

Модули емкостного накопителя энергии для системы электропитания мультипетаваттного лазера

Отработана технология изготовления модулей емкостного накопителя энергии, позволяющая создать систему электропитания мультипетаваттного твердотельного лазера с рабочим напряжением более 10 кВ. Увеличение рабочего напряжения системы электропитания по сравнению с традиционно используемыми значениями 3÷5 кВ позволит повысить эффективность накачки при одновременно улучшении массогабаритных и эксплуатационных характеристик как системы электропитания, так и всего лазерного комплекса в целом. Система электропитания мультипетаваттного лазера представляет собой комплекс из синхронно работающих и идентичных модулей емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) в количестве 12 шт. Каждый модуль обеспечивает накачку единичного усилительного каскада лазера (квантрона), содержащего 8 газоразрядных ламп ИМП16/250, при импульсном разряде на них ЕНЭ 400 мкФ с зарядным напряжением 10÷13,5 кВ. Амплитуда импульса тока накачки составляет около 9,5 кА. Разряд накопителя обеспечивается с помощью высоковольтного полупроводникового (тиристорного) коммутатора. Для обеспечения надежной работы ламп накачки разработан специальный низкоэнергетичный (запасаемая энергия составляет порядка 1% энергии основного ЕНЭ) контур их предыонизации, включаемый за 100 мкс до начала разряда основного накопителя. Модуль ЕНЭ выполнен в стойке размерами 500^W×1800^H×800^D мм. Первые 4 экземпляра модуля были изготовлены в 2010 г. На основе отработанной в 2011 г. технологии были изготовлены оставшиеся 8 шт. модулей ЕНЭ.

Комплекс высоковольтных источников электропитания

непрерывно-импульсного гиротрона

Разработан эффективный комплекс высоковольтных источников электропитания (КВИЭ), позволяющий реализовать как непрерывный, так и импульсно периодический режим генерации СВЧ излучения в широком диапазоне частот следования и длительностей импульсов.

КВИЭ обеспечивает работу гиротрона с выходной мощностью $15\div 20$ кВт как в непрерывном, так и в импульсно-периодическом режимах генерации СВЧ при длительности импульсов $(0,1\div 2)$ с, частоте следования до 5 Гц и скважности не менее 2. Основой КВИЭ является источник питания катода гиротрона 25 кВ 2,5 А. Кроме него в состав КВИЭ входят два маломощных источника питания: источник накала гиротрона и источник питания электроразрядного насоса гиротрона. Импульсно-периодический режим генерации СВЧ излучения осуществляется путем реализации релейного алгоритма работы (вкл/выкл) катодного источника питания. Длительность фронта и среза импульса выходного напряжения катодного источника питания, определяющего параметры импульса СВЧ, в диапазоне номинальных выходных напряжений ($15\div 25$ кВ) и токов ($1,0\div 2,4$ А) не превышают 10 мс. Катодный источник питания выполнен в стойке размерами $1740^W \times 1200^H \times 800^D$ мм.

Генератор импульсов тока для питания магнитной системы гиротрона

Генератор предназначен для использования в экспериментальных стендах для создания и исследования мощных гиротронов терагерцового частотного диапазона.

Генератор позволяет формировать в соленоиде индуктивностью 700мкГн импульсы тока синусоидальной формы амплитудой до 6кА с частотой 0,3Гц.

Комплекс импульсных модуляторов для питания гиротрона миллисекундного диапазона длительности

Создаваемый комплекс предназначен для питания импульсно-периодического гиротрона используемого в международной программе исследований в области физики плазмы и ионных пучков.

Комплекс состоит из двух модуляторов, питающих анодную и катодную цепи гиротрона.

Катодный модулятор генерирует импульсы прямоугольной формы амплитудой до 40кВ и током до 20А длительностью 1мс. Анодный модулятор формирует импульсы прямоугольной формы амплитудой до 20кВ и током до 0,1А при длительности от 0,05 до 1мс с частотой до 5Гц.

Комплекс исследования виброакустических характеристик сложных инженерно-технических объектов

Создан комплекс технических средств для исследования вибрационных и акустических характеристик сложных механоакустических систем для судостроительной, авиационной и строительной областей. Аппаратура комплекса обеспечивает формирование когерентного поля возбуждения (до 256 каналов) и синхронные измерения акустического давления и виброускорения при размерах исследуемого объекта порядка сотен метров. Цифровое управление, сбор данных и синхронизация в рамках локальной сети с интерфейсом Ethernet реализует динамическое управление типом возбуждения, регистрацию, анализ и наблюдение в реальном времени за вибрационным и акустическим полем в диапазоне до 20кГц. Комплекс включает до 512 пьезоакселерометров с интерактивным контролем измерительных трактов и до 1024 гидрофонов, как одиночных приемников, так и гидрофонов антенных систем, в том числе цифровых.

В состав комплекса входят многоканальные системы синхронного возбуждения и регистрации сигналов вибрационного и акустического полей в частотном диапазоне до 20 кГц. Сбор данных, возбуждение и их синхронизация, синхронизация разнесенных в пространстве устройств обеспечиваются в рамках интерфейса Ethernet. Программное управление комплекса позволяет выбирать произвольные типы и режимы возбуждения, формирует оперативное отображение и визуализацию полей. Комплекс укомплектован датчиками вибраций, акустическими антеннами и гидрофонами, блоками ввода и коммутаторами собственной разработки.

Комплекс использован в процессе:

- исследования влияния конструктивных особенностей на виброакустические характеристики изделий;
- отработке диагностических алгоритмов контроля;
- верификации математических моделей и численных методов расчета виброакустических характеристик;
- измерений эффективности виброизоляции движительных комплексов и пространственно развитых трехмерных конструкций;
- измерения силы цели и других характеристик вторичного поля;
- эффективности звукопоглощающих покрытий;
- разработке методов прогноза внешнего поля по измерениям в ближнем поле и на поверхности объекта;
- апертурного синтеза;
- апробации адаптивных методов измерений и обнаружения;
- определения вклада отдельного механизма в общее шумовое поле объекта и поиска источников виброактивности.

Комплекс в различных вариантах комплектования использован для целей акустического проектирования, отработки алгоритмов апертурного синтеза, создания систем активного гашения, разработки и контроля характеристик гидроакустического оборудования

Метод определения вклада отдельных источников в вибрационное и акустическое поле сложных механических конструкций.

Предложен и реализован расчетно-экспериментальный метод определения вклада отдельных механизмов в вибрационное и акустическое поле сложных конструкций. Метод основан на измерении вибраций в наборе точек на пути распространения колебательной энергии от работающего механизма и дальнейшем расчете динамических сил и внешнего поля с помощью численной суперэлементной модели конструкции. Метод сохраняет работоспособность при наличии наведенных сторонними источниками вибраций, превышающих собственные уровни механизма. Экспериментальная реализация показала работоспособность метода в случае, когда вклад рассматриваемого механизма меньше суммарного внешнего поля на величину до 20 дБ, а также устойчивость метода к погрешностям численной модели и ограничению количества контрольных точек для распределенных схем крепления механизма.

Оценка вклада отдельного механизма в общее вибрационное и акустическое поле объекта может быть произведена в случае, когда известны силы, действующие на фундамент со стороны работающего механизма и коэффициенты передачи, связывающие данные силы и оцениваемый параметр (вибрации в некоторой точке конструкции, акустическое поле во внешней среде, и т. д.). Действующую на фундамент силу можно оценить по перепаду вибраций на амортизации механизма, а для коэффициента передачи от фундамента во внешнее акустическое поле использовать простейшую модель, например, модель дипольного излучения силы. Однако такой способ оценки весьма груб и непригоден во многих случаях: во-первых, при наличии на фундаменте наведенной

вибрации, создаваемой другими механизмами; и, во-вторых, для сложных и многоопорных схем крепления механизма.

Предложенный метод определения вклада отдельного источника, также как и описанная выше оценка, использует измерения вибраций в наборе контрольных точек на поверхности контакта механизма и фундамента. Новизна рассматриваемого подхода заключается в использовании численной суперэлементной модели (СЭМ) конструкции и совместной обработке экспериментальных и расчетных данных. СЭМ используется для определения импедансных характеристик фундамента, механизма и системы его виброизоляции. Совокупность измеренных и численных данных позволяет провести определение вклада внутренних источников механизма в действующую на фундамент силу независимо от наличия на фундаменте наведенной сторонними источниками вибрации. Необходимые коэффициенты передачи от найденных сил во внешнее поле также определяются с помощью СЭМ.

Экспериментальная апробация метода проведена на масштабной модели энергетической установки, представляющей собой агрегатную сборку, соединенную с остальной частью сложной оболочечной конструкции посредством пространственно-распределенной системы виброизоляции в виде балочных опор. По результатам экспериментов установлено:

- для оценки вклада внутренних источников во внешнее акустическое поле даже при отсутствии локальных опор и связей источника с несущими конструкциями достаточно небольшого числа контрольных точек на фундаменте (~25).

- достигнутая точность оценки внешнего акустического поля в третьоктавных полосах составляет 3...6 дБ и реализуется в ситуации, когда вклад отдельного источника на 15...20 дБ меньше общего поля конструкции.

Метод сейсмоакустического зондирования морского дна когерентными импульсными сигналами

Для использования в практике рекомендуется разработанный и экспериментально апробированный метод когерентного сейсмоакустического зондирования морского дна, удовлетворяющий требованиям минимизации вредного воздействия на экосистему исследуемой акватории. Метод благодаря высокой когерентности и относительно высокочастотному диапазону излучаемых сигналов реализуются возможности существенного повышения помехоустойчивости и разрешающей способности зондирования структуры донных пород в интервале глубин до ~1000 метров. Указанные результаты достигаются когерентной обработкой принимаемых сигналов, включая согласованную фильтрацию отдельных импульсов, когерентное накопление серии импульсов в пределах горизонтально-однородного участка дна и адаптивное траекторное накопление импульсов с учетом наклонов отдельных отражающих слоев. Экспериментально установлено, что результирующий выигрыш помехоустойчивости достигает 30 дБ, что обеспечивает возможность эффективного использования для сейсмоакустического зондирования морского дна относительно маломощных (в пределах ~100 Вт) когерентных гидроакустических излучателей.

Измеритель диэлектрических параметров диэлектрических жидкостей в ММ и СубММ диапазонах.

Для ММ и СубММ диапазонов длин волн разработана и изготовлена оригинальная модификация резонаторного "безкюветного" метода измерения показателя преломления и поглощения жидких диэлектриков, не требующая привлечения априорной информации о толщине слоя жидкости.

Изготовленная установка с рекордной точностью измеряет диэлектрические параметры жидкостей, которые предполагается использовать как для охлаждения

элементов мощных гиротронов (с выходной мощностью ~ мегаватта) непосредственно взаимодействующих с излучением, так и для поглощения микроволновой энергии в различного рода калориметрических измерительных нагрузках и оконечных нагрузках поглощающих всю излучённую мощность, а также в других современных технологиях.

На базе экспериментальной установки возможно создание промышленного образца для контроля параметров жидких диэлектриков на производстве.

Приведены результаты исследований величин n и $\text{tg}\delta$ современных жидких диэлектриков для ММ и СубММ диапазонов, Идея метода и результаты исследований опубликованы в открытой печати. Патентование нецелесообразно.

Широкоапертурная ячейка Поккельса с плазменными электродами

Разработана создана и исследована широкоапертурная (100×100 мм) ячейка Поккельса с плазменными электродами (ЯППЭ). Исследованы пространственно-временные характеристики ЯППЭ.

Среднее значение неоднородности пропускания в световой апертуре ЯП достаточно малое – $T_{\text{cp}} = 0,31\%$, что свидетельствует о высокой однородности как коэффициента преломления кристалла так и распределения управляющего электрического поля в этом кристалле. Эффективное полуволновое напряжение ячейки равно 10 кВ, длительность временного окна пропускания ячейки регулируется в пределах от 250 нс до 550 нс, длительность его переднего фронта 40-50 нс, заднего 70-100нс. Время формирования плазменных электродов ячейки 40 ± 5 нс. Разработанная ЯППЭ успешно используется в мощной лазерной установке «Луч» в Российском федеральном ядерном центре г. Саров.

Авторы: Н.Ф. Андреев, А.А. Бабин, В.С. Давыдов, А.З. Матвеев (ИПФ РАН), Ю.В. Долгополов, С.Г. Гаранин, С.М. Куликов, С.А. Сухарев, С.В. Тютин (РФЯЦ – ВНИИЭФ).

Метод измерения спектральных характеристик выходного излучения мощных наносекундных микроволновых источников.

Разработан метод измерения спектральных характеристик выходного излучения мощных наносекундных микроволновых источников. Метод позволяет восстанавливать высокочастотное заполнение, используя лишь информацию об амплитуде импульсных сигналов, прошедших через полосно-пропускающий перестраиваемый фильтр (фильтры). Метод основан на итерационной компьютерной обработке измеренных амплитуд сигналов с использованием передаточных функций фильтров. Основным преимуществом метода является отсутствие необходимости использования высокочастотной регистрирующей аппаратуры, достаточно обеспечить лишь измерение протектированных сигналов. Экспериментальная реализация метода позволила восстановить радиоимпульс и, соответственно, спектр выходного излучения релятивистской лампы обратной волны ЛОВ по измеренным амплитудам сигналов, прошедших через полосно-пропускающий перестраиваемый фильтр.