МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОФИЗИКИ

Труды Международной молодежной научной школы

Томск, 25–26 сентября 2017 г.

ТОМСК
«Издательство НТЛ»
2017

Сопоставление возможностей исследования высокодобротных резонансных структур методами частотной и тайм-доменной спектроскопии

Хю Ле Ба, Г.Е. Дунаевский

Томский государственный университет

Измерения спектров пропускания, отражения и поглощения в терагерцовом диапазоне частот (в интервале частот от 0,3 до 10 ТГц, т.е. $0{,}3\cdot10^{12}$ – $10\cdot10^{12}$ Гц, длина волны 1 мм – 30 мкм) могут осуществляться как частотными методами, предполагающими вариации частоты колебаний источника излучения, применяемого в спектрометре, так и тайм-доменной методикой, в основе которой лежит использование короткого импульса излучения и фурье-преобразование продетектированых сигналов реакции исследуемого объекта на этот короткий импульс.

Основная часть

Представляет интерес исследование особенностей измерений частотной и тайм-доменной (TDS) методикой спектральных характеристик объектов, содержащих резонансные элементы с высокой добротностью. Для таких объектов характерны малые значения ширины резонансных кривых и соответственно долгое время «звучания» в реакции на импульсное возбуждение.

Особый интерес представляет сопоставление частотного и TDS-подхода при анализе характеристик многочастотных высокодобротных открытых резонаторов, перспективных в качестве колебательных и фильтрующих систем в терагерцовом диапазоне частот.

Наибольшее применение находит простейший вариант многочастотного открытого резонатора, представляющий собой два зеркала (в квазиоптике – металлических), как правило – вогнутой конфигурации, расположенных симметрично на расстоянии, составляющем несколько десятков длин волн. Важными преимуществами такого рода открытых квазиоптических резонаторных устройств является простота настройки и свободный доступ к рабочему пространству, позволяющий экспериментировать с объектами различной физической природы, бесконтактно наблюдать малые изменения их параметров в реальном времени.

В настоящее время экспериментально исследована возможность наблюдения многочастотного спектра резонансных колебаний отрытого КВЧ-резонатора частотными методами [1–6]. Вместе с тем при использовании одного и того же резонатора в широкой полосе частот на высоких частотах возникают кроме основного еще и высшие типы колебаний. Это является особенностью открытого резонатора, во многих случаях затрудняющей его использование: многочастотность и наличие кроме основного высших типов колебаний. С последними особенно трудно бороться при использовании резонатора в широкой полосе частот: для обеспечения высокой добротности основной моды в низкочастотной части диапазона необходима большая апертура зеркал, а в высокочастотной части диапазона эта увеличенная апертура создает условия для возбуждения нежелательных высших («боковых») видов колебаний.

С целью устранения боковых мод в широком диапазоне длин волн предлагается использовать открытый резонатор с регулируемой диафрагмой. Блок-схема измерительной установки, содержащей открытый резонатор с регулируемой диафрагмой, представлена на рис. 1.

Рис. 1. Блок-схема установки, содержащей открытый резонатор с регулируемой диафрагмой

Система работает следующим образом. В качестве перестраиваемого источника монохроматического излучения используется лампа обратной волны (ЛОВ), которая генерирует излучение в терагерцовом диапазоне частот. В качестве детектора используется ячейка Голея, амплитудная модуляция задается механическим прерывателем. С помощью блока аналоговой-цифрового преобразователя (АЦП) и персонального компьютера (ПК) осуществляется синхронное детектирование и обработка принимаемого сигнала. В квазиоптическом тракте между собирающими линзами располагается открытый резонатор с регулируемой диафрагмой (рис. 2), благодаря которой можно в различных областях спектра выделять только основной вид колебаний.

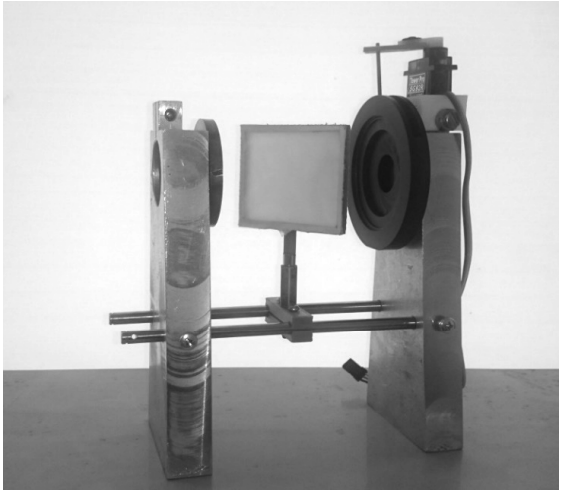

Рис. 2. Открытый резонатор с регулируемой диафрагмой

Изменение апертуры диафрагмы осуществляется синхронно с изменением частоты генерации ЛОВ исполнительным сервоприводом, который управляется микроконтроллером от ПК.

Альтернативой рассмотренному частотному методу исследования спектра резонансных частот может служить TDS-метод.

Особенностью данного метода измерений, как уже отмечалось, является фиксация отклика исследуемой системы на возбуждающий короткий электромагнитный импульс. Типичная схема измерений параметров открытого резонатора TDS-методом приведена на рис. 3.

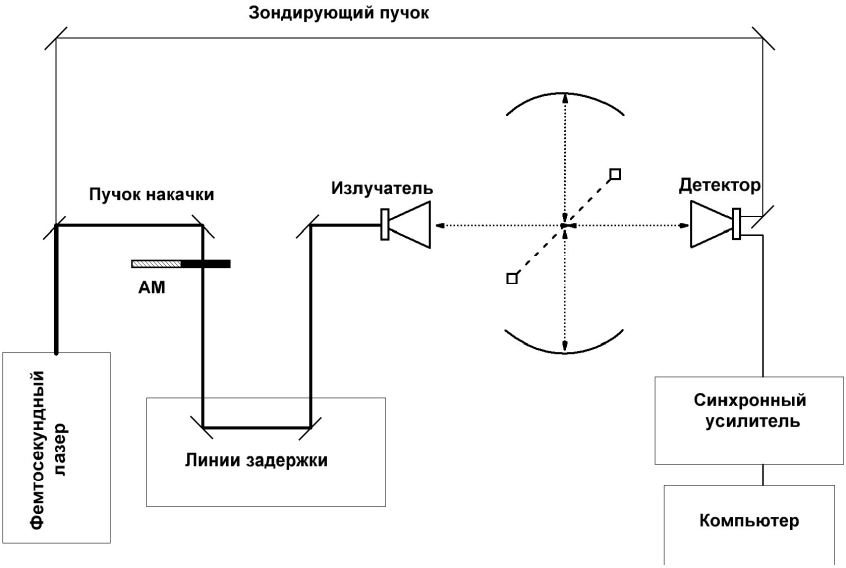

Рис. 3. Схема измерения параметров открытого резонатора TDS-методом

В основе данного метода измерений лежит генерация короткого ТГЦ-импульса в нелинейном кристалле фемтосекундным лазером, с последующим пропусканием этого импульса через опорную линию задержки и исследуемый резонатор и, одновременно, с подачей части лазерного сигнала на приемный (детектирующий) преобразователь терагерцового излучения, что обеспечивает режим чувствительного синхронного детектирования.

Преимуществом TDS-подхода, по сравнению с частотным методом, где с ростом резонансной частоты затрудняются возможности измерений малых вариаций полуширины резонансной кривой (добротности резонатора), является возрастающее с увеличением добротности резонатора время его «звучания», позволяющее, в принципе, с большей точностью фиксировать эти значения добротности [6]. Вместе с тем неоднозначной остается корректность фиксации этих изменений для многочастотного резонатора, где добротности различных мод могут отличаться существенно. Кроме того, в отличие от вышерассмотренного примера подавления боковых мод синхронным диафрагмированием, возможным при частотном наблюдении спектра колебаний резонатора,

в TDS-методике такой способ подавления нежелательных видов колебаний не реализуется. Соответственно неизбежно либо появление высших мод в верхней части диапазона, либо, при их подавлении диафрагмированием пучка, снижение добротности основного вида колебаний в низкочастотной области.

Заключение

Из вышесказанного следует большее предпочтение к частотной методике, где можно обеспечить более корректные измерения и фильтрацию нежелательных боковых мод. Вместе с тем следует иметь в виду, что ЛОВ-генерация ограничена частотами порядка 1,5 ТГц. Продвижение в более высокочастотную часть терагерцового диапазона, где частотные методы реализуются с трудом, будет осуществляться, в основном, применением TDS-методов спектрального анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Емельянов Е.В., Дунаевский Г.Е.* СВЧ-датчик для контроля влажности листовых материалов на основе открытого резонатора // Ползуновский вестник. – 2011. – № 3-1. – С. 80–82.
2. *Дорофеев И.О., Дунаевский Г.Е.* Потери в открытом СВЧ-резонаторе со сверхтонким цилиндром // Изв. вузов. Физика. – 2011. – Т. 54. – № 10. – С. 53–59.
3. *Бадьин А.В., Дунаевский Г.Е.* Исследование открытым СВЧ-резонатором анизотропии коэффициента отражения электромагнитной волны от горной породы // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 196–198.
4. *Badin A.V., Dunaevskii G.E.* Optimization of resonator for local quasi-optical SHF and EHF diagnostics of inhomogenious materials anisotropy // Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo), 24th International Crimean Conference, 2014. – IEEE, 2014. – P. 910–911.
5. *Xu W. et al.* Terahertz wavemeter based on scanning Fabry – Perot interferometer: accuracy and optimum designation // J. Modern Optics. – 2016. – V. 63. – No. 10. – P. 974–981.
6. *Завьялов А.С.* Основы измерений на сверхвысоких частотах. – Томск: Изд-во ТГУ, 1981. – С. 39–48.

Ле Ба Хю, магистрант; blue.sky.le.huy@gmail.com;
Дунаевский Григорий Ефимович, д.т.н., профессор; proecs@mail.tsu.ru.