

09

Разрежение спектра колебаний шепчущей галереи H -типа полусферического диэлектрического резонатора

© Г.В. Голубничая, А.Я. Кириченко, И.Г. Максимчук

Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины,
Харьков
E-mail: kharkovs@ire.kharkov.ua

Поступило в Редакцию 19 января 2005 г.

Показано, что густой спектр резонансных колебаний H -типа, возбуждаемый в полусферическом диэлектрическом резонаторе емкостной щелью на металлическом зеркале, удастся существенно разредить путем возбуждения резонатора диэлектрическим волноводом, связанным распределенной связью с резонатором. Диэлектрический волновод при этом должен располагаться в специальном месте относительно основания полусферы.

Введение. Диэлектрические резонаторы с высокодобротными колебаниями типа шепчущей галереи все больше привлекают внимание исследователей и разработчиков СВЧ приборов и устройств, особенно в миллиметровой и субмиллиметровой областях электромагнитного спектра. Такие резонаторы нашли применение в качестве стабилизаторов частоты автогенераторов [1], заграждающих фильтров [2], для диэлектрометрии материалов с низкими потерями [3] и т.д. Наиболее широко изучаются и используются дисковые и сферические диэлектрические резонаторы. Преимуществом диэлектрических резонаторов в форме диска является сравнительно несложный расчет их электродинамических свойств, определения их резонансных частот и характера распределения полей колебаний. Однако колебания шепчущей галереи, возникающие в диске, дважды вырождены, из-за чего минимальная неоднородность зачастую приводит к расщеплению резонансов и происходит их перекрытие. Это приводит к дополнительным трудностям по определению добротности резонансного колебания, что важно, в частности, при проведении диэлектрических измерений [4]. Добротность колебаний, возбуждаемых в сферическом резонаторе, выше добротности колебаний, возбуждаемых в дисковом диэлектрическом

резонаторе, вследствие уменьшения радиационных потерь с криволинейной поверхности. Для удобства возбуждения колебаний в таких резонаторах и с целью расширения их функциональных возможностей было предложено использовать диэлектрические резонаторы в форме полусферы с металлическим зеркалом в экваториальной плоскости [5]. При возбуждении в таком резонаторе колебаний E -типа емкостной щелью, расположенной на поверхности зеркала, наблюдается спектр резонансных колебаний, поля которых на криволинейной поверхности образуют пояски в направлении полярной координаты с одной или двумя вариациями поля вдоль азимутальной координаты. Эти пояски образуются волнами, нормально падающими на поверхность зеркала и отражающимися от него, естественно, также по нормали. Для существования таких колебаний наличие металлического зеркала необходимо. Однако при возбуждении колебаний шепчущей галереи H -типа емкостной щелью в зеркале наблюдается чрезвычайно густой спектр резонансных колебаний [6]. Это затрудняет не только широкое использование сферических резонаторов в практических целях на колебаниях H -типа, но даже создает трудности в исследовании этих колебаний. Изучению возможности разрежения спектра резонансных колебаний H -типа в полусферическом диэлектрическом резонаторе путем выбора способа их возбуждения посвящены настоящие исследования.

Методика эксперимента. Колебания шепчущей галереи H -типа исследовались в диэлектрическом полусферическом резонаторе с металлическим зеркалом в основании и без него. Полусфера радиусом 37 mm изготавливалась из фторопласта. Диаметр металлического медного зеркала значительно превышал диаметр полусферы. Применялись следующие способы возбуждения колебаний: емкостной щелью в зеркале резонатора размером 7.2×1.7 mm, ориентированной вдоль радиуса; открытым концом металлического волновода (размер щели 7×1.0 mm); диэлектрическим волноводом, выполненным из фторопласта, размером 7.2×3.4 mm, узкая стенка которого располагалась перпендикулярно основанию вблизи криволинейной поверхности полусферы, и также была предусмотрена возможность перемещения возбуждающего волновода от основания полусферы к полюсу. Сигнал от клистрона через ферритовый вентиль и аттенюатор поступал на диэлектрический резонатор, отраженный сигнал с измерительного плеча направленного ответвителя детектировался кристаллическим детектором и регистрировался на экране осциллографа. Резонансная частота определялась с помощью резонансного волномера. Механическая перестройка клистрона опре-

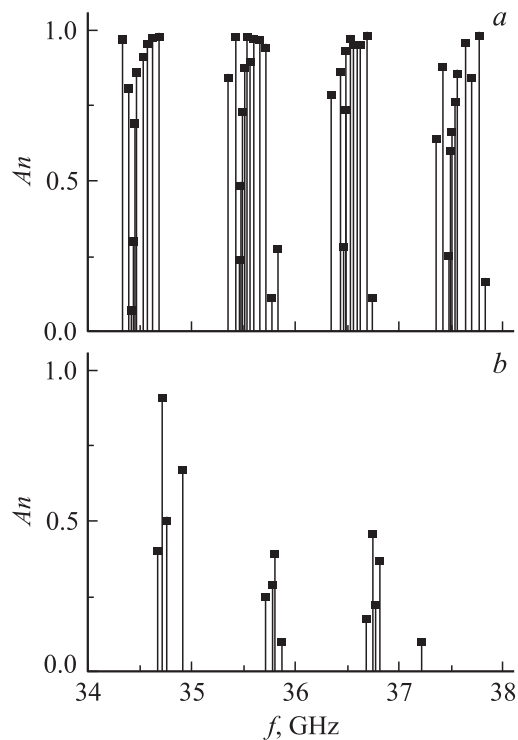


Рис. 1. Зависимость относительной амплитуды A резонансных колебаний H -типа диэлектрической полусферы от частоты F в случаях возбуждения полусферы с металлическим зеркалом: a — щелью в металлическом зеркале, b — диэлектрическим волноводом; полусфера без зеркала: c — зауженным концом металлического волновода, d — диэлектрическим волноводом при $h = 0$, e — диэлектрическим волноводом $h = 6$ mm.

деляла диапазон рабочих частот 32–38 GHz. Таким образом, измерялась амплитудно-частотная характеристика колебаний шепчущей галереи в полусферическом резонаторе в зависимости от используемого способа его возбуждения.

Результаты эксперимента. На рис. 1, a показана зависимость амплитуды резонансных колебаний шепчущей галереи H -типа от частоты для полусферического диэлектрического резонатора, в экваториальной

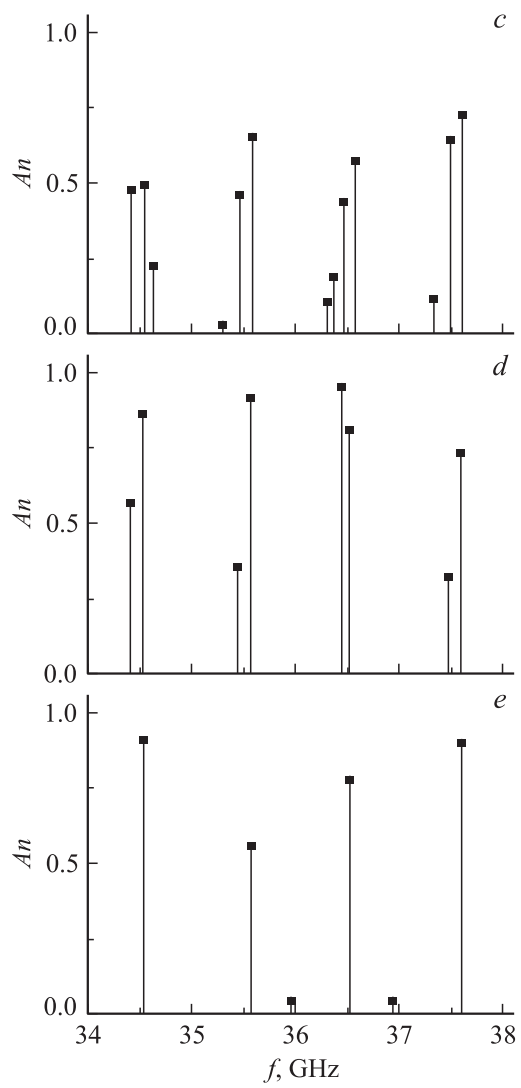


Рис. 1 (продолжение).

плоскости которого расположен металлический диск. Возбуждение колебаний произведено емкостной щелью на зеркале, расположенной вдоль радиуса основания полусферы. Спектр очень сложный, густой и многокомпонентный. С интервалом примерно в 1 GHz повторяется целая серия резонансных колебаний H -типа. Видно, что на расстояниях в несколько десятков мегагерц возбуждается свыше десяти колебаний, резонансные кривые которых могут перекрываться. Эти особенности и явились причиной отсутствия до настоящего времени исследований колебаний H -типа в зеркальной диэлектрической полусфере.

При возбуждении полусферы, расположенной на зеркале, диэлектрическим волноводом спектр резонансных частот заметно разрежается (рис. 1, *b*). Остаются только 4 резонансные частоты. Очевидно, что уменьшение резонансных откликов связано с изменением условий отражения волн шепчущей галереи от поверхности металлического зеркала при изменении точки возбуждения. Отсутствуют самые низкочастотные колебания в каждой из серий, пояски распределения поля которых проходят через полюс полусферы, как у колебаний E -типа [6]. Отмечается также некоторое смещение наблюдаемого частотного спектра в сторону более высоких частот примерно на 0.25 GHz.

При проведении этих исследований нами было установлено, что в отличие от колебаний E -типа колебания H -типа могут быть возбуждены в диэлектрической полусфере и без наличия металлического зеркала. На рис. 1, *c* продемонстрирован спектр резонансных частот, возбуждаемый открытым торцом стандартного металлического волновода, зауженного по узкой его стенке до размера 7.2×1.0 mm. Волноводная щель располагалась непосредственно на поверхности основания полусферы параллельно ее радиусу. Серия возбуждаемых резонансных колебаний уже состоит из 2 основных резонансов при наличии нескольких дополнительных резонансов слабой интенсивности, т.е. исчезает ряд эффективно возбуждаемых колебаний, связанных с волнами шепчущей галереи, отражаемых от металлического зеркала.

Более разреженный спектр резонансных частот наблюдается при возбуждении колебаний шепчущей галереи H -типа в полусфере без зеркала с помощью прямоугольного диэлектрического волновода, расположенного вблизи основания полусферы (рис. 1, *d*). В спектре резонансных частот присутствуют лишь два вырожденных резонансных колебания. Проведенными исследованиями характера распределения поля колебаний шепчущей галереи H -типа установлено, что поля

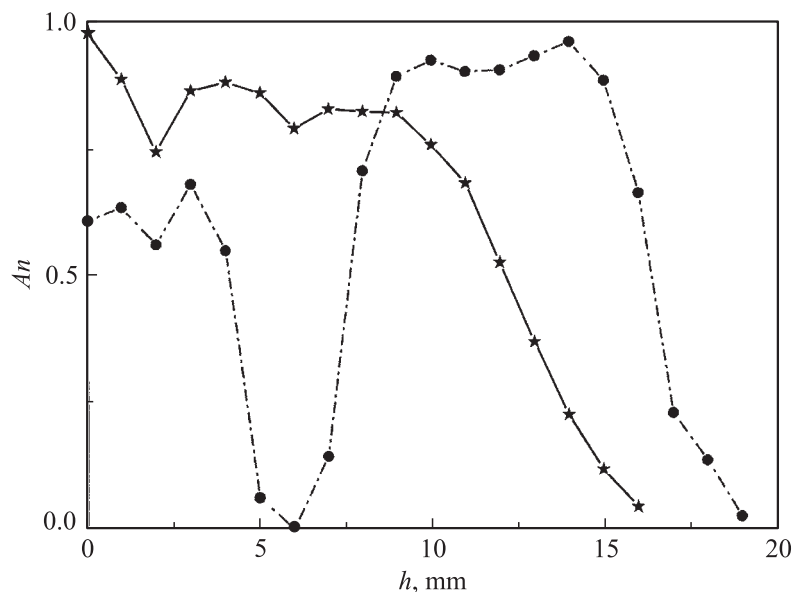


Рис. 2. Зависимость относительной амплитуды A резонансных колебаний шепчущей галереи H -типа диэлектрической полусферы без металлического зеркала, возбуждаемых диэлектрическим волноводом, от расстояния h между волноводом и основанием полусферы.

наблюдаемых резонансных колебаний создают на поверхности сферы пояски в направлении азимутальной координаты, т.е. параллельные экватору. Оба пояска поля примыкают к основанию полусферы. В связи с разном частот примерно на 0.10 GHz удалось установить, что добротность более высокочастотного колебания в серии ($f = 37.65 \text{ GHz}$) превышает 2000, а более низкочастотного — ($f = 37.55 \text{ GHz}$) достигает лишь 1250.

Меняя точку возбуждения, т.е. сдвигая возбуждающий диэлектрический волновод от „экватора“ полусферы к ее „полюсу“ (при этом сохраняя по мере возможности коэффициент связи волновода с резонатором), измеряли зависимости относительной амплитуды резонансов A от расстояния h волновод — основание полусферы (рис. 2). Видно, что для этих двух колебаний эффективность возбуждения

электромагнитного поля при перемещении возбуждающего волновода имеет различный характер. Для колебания с частотой 37.55 GHz эффективность возбуждения остается почти постоянной до расстояния h около 10 mm от основания полусферы и затем падает до нуля в интервале изменения h от 10 до 16 mm. В то время как эффективность возбуждения колебания с частотой 37.45 GHz проходит через минимум (около $h = 6$ mm она практически равна нулю), затем следует широкий максимум при изменении h от 8 до 14 mm и опять спадает до нуля в районе 19 mm.

По-видимому, в первом случае мы имеем дело с колебанием H -типа, которое имеет одну вариацию поля по полярной координате θ с максимумом при $\theta = \pi/2$. Во втором случае наблюдается резонансное колебание H -типа с двумя вариациями поля по θ , у которого один из максимумов поля расположен при $\theta \neq \pi/2$ [7]. Основываясь на этих измерениях, был сделан дальнейший шаг к разрежению спектра колебаний полусферы. Поместив диэлектрический волновод, возбуждающий резонансные колебания в диэлектрической полусфере без зеркала, в точку на расстоянии $h = 6$ mm от основания полусферы, получили спектр резонансных колебаний, состоящий только из одной резонансной линии (рис. 1, *e*).

Заключение. Проведенными экспериментальными исследованиями показано, что в зависимости от способа возбуждения колебаний шепчущей галереи H -типа в диэлектрическом резонаторе в форме полусферы можно влиять на возбуждаемый спектр резонансных частот и добиться разрежения спектра вплоть до получения спектра с разносом резонансных частот на величину, близкую к 1 GHz. Наблюдаемая сетка резонансных частот колебаний шепчущей галереи H -типа, возбуждаемых с помощью распределенной связи диэлектрической полусферы с диэлектрическим волноводом, может иметь такую же плотность, как и сетка частот колебаний E -типа, возбуждаемых в этом же резонаторе. Таким образом, открываются перспективы для использования колебаний H -типа, возбуждаемых в полусферическом диэлектрическом резонаторе, в частности, для измерений комплексной диэлектрической проницаемости твердых тел и жидкостей с потерями.

Авторы выражают благодарность А.Е. Когуту за помощь в проведении измерений.

Работа выполнена благодаря поддержке Украинского научно-технологического центра по проекту № 2051.

Список литературы

- [1] Царякин Д.П. // Радиотехника. 2002. № 2. С. 28–35.
- [2] Jiao X.H., Guillon P., Bermudez L.C., Aukemy P. // IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques. 1987. V. 35. N 12. P. 1169–1175.
- [3] Взятыйшев В.Ф., Гудков О.И., Добрымыслов В.С., Егоров В.Н. // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. 1982. В. 5 (341). С. 27–30.
- [4] Krupka J., Derzakowski K., Abratovich A., Tobar M.E., Geyer R.G. // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1999. V. 47. N 6. P. 752–759.
- [5] Харьковский С.Н., Когут А.Е., Солодовник В.А. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 18. С. 38–42.
- [6] Голубничая Г.В., Кириченко А.Я., Когут А.Е., Кутузов В.В., Максимчук И.Г., Солодовник В.А. // Докл. НАН Украины. 2004. № 11. С. 80–84.
- [7] Прокопенко Ю.В., Смирнова Т.А., Филиппов Ю.Ф. // ЖТФ. 2004. Т. 74. В. 4. С. 82–88.