

01 Jan 2000

## About Resonant Modes at the Shielded Dielectric Hemisphere

Sergey Kharkovsky

*Missouri University of Science and Technology*

A. E. Kogut

Z. E. Eremenko

V. V. Kutuzov

*et. al.* For a complete list of authors, see [https://scholarsmine.mst.edu/ele\\_comeng\\_facwork/1410](https://scholarsmine.mst.edu/ele_comeng_facwork/1410)

Follow this and additional works at: [https://scholarsmine.mst.edu/ele\\_comeng\\_facwork](https://scholarsmine.mst.edu/ele_comeng_facwork)

 Part of the [Electrical and Computer Engineering Commons](#)

---

### Recommended Citation

S. Kharkovsky et al., "About Resonant Modes at the Shielded Dielectric Hemisphere," *Proceedings of the 10th International Crimean Microwave Conference, 2000. Microwave & Telecommunication Technology. 2000*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Jan 2000.

The definitive version is available at <https://doi.org/10.1109/CRMICO.2000.1256151>

This Article - Conference proceedings is brought to you for free and open access by Scholars' Mine. It has been accepted for inclusion in Electrical and Computer Engineering Faculty Research & Creative Works by an authorized administrator of Scholars' Mine. This work is protected by U. S. Copyright Law. Unauthorized use including reproduction for redistribution requires the permission of the copyright holder. For more information, please contact [scholarsmine@mst.edu](mailto:scholarsmine@mst.edu).

# О РЕЗОНАНСНЫХ КОЛЕБАНИЯХ В ЭКРАНИРОВАННОМ ПОЛУСФЕРИЧЕСКОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ

Филиппов Ю.Ф., Харьковский С.Н., Когут А.Е., Кутузов В.В., Еременко З.Е.  
Институт радиофизики и электроники им. А.Я.Усикова НАН Украины  
310085, Харьков, ул. Акад. Проскуры, 12  
тел. (0572) 44-85-93

**Аннотация** - Теоретически и экспериментально изучены резонансные колебания в экранированном сферическом диэлектрическом резонаторе. Показано, что при больших значениях полярного индекса существуют одновременно низкодобротные колебания воздушного зазора и колебания типа шепчущей галереи, поля которых расположены внутри сферы вблизи границы раздела диэлектрик - воздух. При определенных соотношениях между параметрами диэлектрической структуры и металлического экрана добротность последних значительно превышает добротность колебаний в открытой диэлектрической сфере.

## I. Введение

Интерес к резонансным колебаниям типа шепчущей галереи (ШГ) в открытых диэлектрических резонаторах связан с их высокой добротностью вследствие локализации полей в узкой области вблизи криволинейной поверхности диэлектрика [1]. Характерные особенности спектра этих колебаний широко используются при создании генераторов, фильтров, в устройствах для изучения свойств материалов и т. д. [2-4]. Чувствительность спектральных характеристик колебаний ШГ к влиянию примыкающей среды, внешнего электромагнитного излучения приводит к неконтролируемым изменениям параметров устройств. Решить данную задачу может экранирование диэлектрических резонансных структур. Высокодобротные колебания в экранированных цилиндрических резонаторах впервые были обнаружены и исследованы авторами работы [5].

В предлагаемой работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований спектральных и энергетических характеристик колебаний в экранированном полусферическом диэлектрическом резонаторе (ЭПДР).

## II. Теория

Рассмотрим слоистый полусферический резонатор, содержащий полусферу радиуса  $r_1$ , изготовленную из материала с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_1$ , воздушный зазор ( $\epsilon_2 = 1$ ) и металличе-

скую оболочку с радиусами  $r_2, r_3$  и  $\epsilon_3 = \frac{4\pi i \sigma}{\omega_p}$ ,

расположенные на идеально проводящем плоском зеркале. Здесь  $\sigma$  - проводимость металла,  $\omega_p$  - резонансная частота. Из-за большой проводимости (для меди  $\sigma = 1,5 \times 10^{18} \text{ c}^{-1}$ ) затухание колебаний в нем велико, а фазовая скорость и длины волн малы. Глубина проникновения поля предполагается малой по сравнению с толщиной металлической оболочки. Влиянием на спектральные характеристики резонансных колебаний волны, отраженной от внешней границы оболочки, в этом случае можно пренебречь.

В ЭПДР существуют два типа независимых колебаний: поперечно электрические (ТЕ моды)

$$E_r = 0; E_\theta = \frac{1}{rc \sin \theta} \frac{\partial^2 U_H}{\partial \varphi \partial t};$$

$$E_\varphi = \frac{1}{rc} \frac{\partial^2 U_H}{\partial \theta \partial t}; H_r = \frac{n(n+1)}{r^2} U_H;$$

$$H_\theta = \frac{1}{r} \frac{\partial^2 U_H}{\partial r \partial \theta}; H_\varphi = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial^2 U_H}{\partial r \partial \varphi}$$

и поперечно магнитные (ТМ моды) с компонентами полей

$$H_r = 0; H_\theta = -\frac{\epsilon(r)}{rc \sin \theta} \frac{\partial^2 U_E}{\partial \varphi \partial t};$$

$$H_\varphi = \frac{\epsilon(r)}{rc} \frac{\partial^2 U_E}{\partial \theta \partial t}; E_r = \frac{n(n+1)}{r^2} U_E;$$

$$E_\theta = \frac{\partial^2 U_E}{\partial r \partial \theta}; E_\varphi = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial^2 U_E}{\partial r \partial \varphi}.$$

Здесь

$$U_s = \sum_p F_{sp} R_{sp}(r) P_n^m(\cos \theta) \exp[i(m\varphi - \omega_p t)],$$

где  $F_{sp}$  - амплитуда колебаний, определяемая из условий возбуждения, индекс  $s$  равен Е для ТМ и Н для ТЕ мод. Индекс  $p$  обозначает тройной индекс  $n, m, l$ , в котором  $n$  и  $m$  есть полярный и азимутальный индексы, определяющие число вариаций поля по полярной и азимутальной координатам соответственно,  $l$  - число полуволн, укладывающихся по радиусу,  $P_n^m(x)$  - присоединенные функции Лежандра. Граничные условия на плоском зеркале ( $\theta = \pm \pi/2$ ) выполняются, если сумма значений полярного и азимутального индексов нечетна для ТМ мод и четна для ТЕ. При этом происходит частичное снятие вырождения колебаний по азимутальному индексу: в сферическом резонаторе существует  $(2n+1)$  - кратное вырождение колебаний по  $m$ , а в рассматриваемом резонаторе -  $(n+1)$  - кратное. Функция  $R_{sp}(r)$  определяет распределение поля по радиальной координате.

## III. Эксперимент

Основными трудностями при экспериментальном изучении колебаний в сферическом резонаторе является размещение источника излучения в поле резонатора и густота спектра. Для их преодоления был создан макет, в котором на двух ограниченных плоских зеркалах расположены диэлектрическая полусфера из фторопласта ( $\epsilon_1 = 2,08$ )  $r_1 = 39$  мм и открытый с торцов медный цилиндр с полукругом в основаниях радиусом 42 мм. Замена одной половины диэлектрической сферы металлическим зерка-

лом дало возможность ввода источника излучения в поле колебаний типа ШГ. Он помещался в одном из зеркал в виде сужающегося вдоль широкой стенки полого металлического волновода, образуя при этом на зеркале прямоугольную щель. Положение источника излучения и его ориентацию относительно радиуса основания полусферы можно было изменять. Применение ограниченных зеркал и цилиндрического экрана существенно разредило спектр вынужденных колебаний исследуемого резонатора. В нем оставался только низший радиальный тип колебаний ШГ ( $l=1$ ). При возбуждении источником излучения с аксиально несимметричной апертурой область локализации полей имеют вид неоднородного пояса на поверхности полусферы [6]. Возбуждаемые в ЭПДР колебания ШГ имеют вырождение по азимутальному индексу: на одной частоте существуют колебания с  $m = 1$  и 2. Более узкий пояс имеет поле низшего азимутального колебания. Вследствие этого цилиндрический экран оказывает большее воздействие именно на этот тип колебания, что в свою очередь приводит к снятию вырождения.

Проведенные теоретические исследования показали, что в ЭПДР ТЕ и ТМ моды существуют как в виде объемных низкодобротных колебаний в полости, так и колебаний внутри диэлектрика. Последние по величине полярного индекса делятся на объемные низкодобротные ( $n < 4$ ) и высокодобротные типа ШГ ( $n > 4$ ). При величине воздушного зазора, меньшей длины волны, объемные колебания полости отсутствуют. Частота колебаний ШГ с увеличением зазора растет и стремится к частоте колебаний открытой со стороны криволинейной поверхности полусферы. При величине зазора, большей длины волны, в полости резонатора возникает семейство объемных колебаний, частоты которых с увеличением воздушного зазора понижаются и приближаются к частотам колебаний типа ШГ. При совпадении частот этих колебаний в ЭПДР наблюдается межтиповое взаимодействие, приводящее к расталкиванию дисперсионных кривых.

Исследование радиального распределения плотности энергии поля показало, что при определенных соотношениях между размерами экрана и диэлектрической полусферы, поле колебаний ШГ концентрируется в очень узкой области вблизи ее поверхности. Это приводит к повышению собственной добротности их при уменьшении полярного индекса. Рост добротности прекращается при нарушении условия "запирания" поля в диэлектрике. В открытом же диэлектрическом резонаторе при уменьшении  $n$  от 40 до 10 наблюдается уменьшение собственной добротности колебаний типа ШГ на порядок вследствие увеличения радиационных потерь энергии.

#### IV. Заключение

В работе показано, что в ЭПДР при определенных соотношениях между параметрами металлического экрана и диэлектрической структуры возникают колебания типа ШГ с локализацией энергии поля в узкой области вблизи поверхности диэлектрической полусферы. Это определяет высокие уровни их добротности, значительно превышающие добротности колебаний, возбуждаемых в открытой резонансной системе с теми же параметрами.

#### V. Список литературы

- [1] Когут А.Е., Кутузов В.В., Филиппов Ю.Ф., Харьковский С.Н. Колебания типа шепчущей галереи в квазиоптическом полусферическом диэлектрическом резонаторе // Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника. 1997. Т.40, №2. С.19-26.
- [2] Kharkovsky S.N., Kirichenko A.Ya., Kogut A.E. Solid-State Oscillators with Whispering-Gallery Mode Dielectric Resonators // Microwave and Optical Technology Letters. 1996. V.12, №4. P.210 - 213.
- [3] Guillon P., Jiao X.H., Auxemery P., Bermudez L.A. Whispering-Gallery Modes Herald DR MM-Wave Use // Microwave and RF. 1987. V.26, №9. P. 85-96.
- [4] Ганапольский Е.М., Голик А.В., Королюк А.П. Квазиоптический метод измерения малых диэлектрических потерь в конденсированных средах // Физика низких температур. 1993. Т.19, №11. С. 1255 - 1259.
- [5] Ильченко М.Е., Взятыхшев В.Ф., Гасанов Л.Г. и др. Диэлектрические резонаторы / Под ред. Ильченко М.Е. - М.: Радио и связь, 1989. -328с.
- [6] Харьковский С.Н., Когут А.Е., Солодовник В.А. Фокусировка волн типа шепчущей галереи в квазиоптическом полусферическом диэлектрическом резонаторе // Письма в ЖТФ. 1995. Т.21, вып. 18. С. 38 - 42.

#### ABOUT RESONANT MODES AT THE SHIELDED DIELECTRIC HEMISPHERE

Filippov Yu.F., Kharkovsky S.N., Kogut A.E.,  
Kutuzov V.V., Eremenko Z.E.  
A. Ya. Usikov Institute of Radiophysics and Electronics  
NAS of Ukraine  
Tel.: (0572) 44-85-93

The resonant modes, which are excited at the shielded dielectric hemisphere, are investigated by the theoretical and experimental methods. The low-Q-factor modes of air cavity and high-Q-factor whispering gallery modes of dielectric structure are existed together in the case of high radial index value. The Q-factor value of the whispering gallery modes of the shielded dielectric sphere with the certain correlation between the sizes of dielectric hemisphere and metal shield can be more great than the Q-factor of the whispering gallery modes of the similar open dielectric resonator.