

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА СВЧ

УДК 621.372.413

ВЫСШИЕ АЗИМУТАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ *HE*- И *EH*- ТИПОВ В СОСТАВНОМ ДИСКОВОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ

А. Я. Кириченко, С. П. Мартынюк, А. П. Моторненко, И. Г. Скуратовский

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины,
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: briz@ire.kharkov.ua*

Рассмотрена резонансная структура, состоящая из дискового диэлектрического резонатора (ДДР) и вспомогательного диэлектрического диска, диаметр которого превышает диаметр ДДР. Диск расположен осесимметрично на основном резонаторе, а его диэлектрическая проницаемость меньше диэлектрической проницаемости ДДР. Такой резонатор назван составным дисковым диэлектрическим резонатором (СДДР). Экспериментально исследованы резонансные особенности высших азимутальных электромагнитных колебаний шепчущей галереи *HE*- и *EH*- типов в СДДР миллиметрового диапазона длин волн. Исследовано также влияние сильно поглощающей жидкости, помещенной во вспомогательном диске, на характеристики колебаний в таком резонаторе. Ил 6. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: дисковый диэлектрический резонатор; составной дисковый диэлектрический резонатор; миллиметровый диапазон длин волн.

Как известно, высокие добротность и частотная стабильность, а также технологичность и простота диэлектрических резонаторов обусловили их широкое практическое использование [1]. Отдельную группу в классе диэлектрических резонаторов занимают резонансные структуры на высших азимутальных электромагнитных колебаниях шепчущей галереи, имеющие свои специфические особенности. В последнее время с помощью таких резонаторов интенсивно изучаются возможности определения диэлектрических параметров сильно поглощающих жидкостей и твердых материалов [2-8].

В работах [9, 10] были исследованы особенности новой разновидности дискового диэлектрического резонатора (ДДР), названной составным дисковым диэлектрическим резонатором (СДДР). СДДР состоит из основного дискового диэлектрического резонатора и осесимметрично помещенного на нем вспомогательного диска большего диаметра из диэлектрика с меньшей диэлектрической проницаемостью. Как показали исследования, в такой резонансной структуре высшие азимутальные колебания обусловлены характеристиками основного ДДР, а численные значения собственной частоты f и добротности Q зависят от параметров вспомогательного диска. При этом в СДДР с помощью набора вспомогательных дисков разной толщины можно изменять как собственные частоты, так и добротности высших азимутальных колебаний. Кроме того, помещая на вспомогательном диске сильно поглощающий материал, можно дополнительно изменять величины f и Q выбранного резонансного колебания. Важно отметить, что изменением толщины вспомогательного диска можно достаточно легко управлять степенью влияния исследуемо-

го сильно поглощающего вещества на характеристики СДДР и таким образом выбирать для измерений оптимальную добротность его колебаний.

Нами исследованы резонансные свойства собственных высших азимутальных электромагнитных колебаний *HE*- и *EH*-типов в СДДР миллиметрового диапазона длин волн. Проведено сравнение характеристик *HE*- и *EH*-колебаний в резонаторе и изучено влияние на них сильно поглощающей жидкости.

1. Устройство СДДР и методика эксперимента. Исследуемый СДДР состоял из основного ДДР из плавленого кварца ($\epsilon_1 = 3,78$; $\text{tg} \delta_1 = 1 \cdot 10^{-4}$) диаметром $34 \pm 0,1$ мм толщиной $5,04 \pm 0,02$ мм. Плоские поверхности резонатора были отполированы, а цилиндрическая - отшлифована. Резонатор крепился на металлическом стержне диаметром 3 мм, проходящем через центр диска и не выходящим наружу. В процессе экспериментов на плоскую поверхность кварцевого ДДР последовательно и осесимметрично накладывались тефлоновые диски (ТД) ($\epsilon_1 = 2,06$; $\text{tg} \delta_1 = 2 \cdot 10^{-4}$) диаметром $46 \pm 0,1$ мм, толщина h которых изменялась от 1 до 9 мм (всего 9 образцов). В случае необходимости помещения на ТД поглощающего материала (жидкости) он изготовлялся с тонкой (≤ 1 мм) периферийной боковой стенкой высотой 5 мм. Как показали эксперименты, такое изменение геометрии ТД не оказывает влияния на характер спектра высших азимутальных колебаний в СДДР, так как стенка ТД находится вне каустики поля. По этой же причине требования к соосности основного и вспомогательного дисков не являются жесткими.

Нами последовательно исследовались колебания HE_{mnp} - и EH_{mnp} -типов (здесь осевой и радиальный индексы: $m = n = 1$, а азимутальный индекс $p \geq 1$). Возбуждение этих колебаний осуществлялось с помощью соответствующего расположения возбуждающего и принимающего прямоугольных диэлектрических волноводов относительно резонатора. Волноводы помещались симметрично на некотором расстоянии от криволинейной границы ДДР и несколько ниже его плоской верхней границы. Переход от одного типа колебания к другому осуществлялся поворотом волноводов вокруг их продольных осей. Резонансные характеристики ДДР и СДДР исследовались с использованием панорамного измерителя КСВН и ослабления в диапазоне частот 29-35 ГГц по схеме включения резонатора "на проход". Частоты колебаний f измерялись с помощью калиброванного волномера, а амплитуды колебаний A определялись как $A = (40 - L)$ [дБ], где 40 дБ - потенциал панорамного измерителя, а L [дБ] - измеренные потери. Собственные добротности Q выбранных резонансов рассчитывались по стандартной методике. Отметим, что исследования спектральных характеристик ДДР и СДДР проводились в условиях малой связи резонаторов с СВЧ трактами.

2. Экспериментальные результаты и их обсуждение. Первоначально были изучены собственные HE - и EH -колебания в кварцевом ДДР. На рис. 1,а приведена регистрограмма участка спектра высших азимутальных электромагнитных колебаний шепчущей галереи $HE_{1,1,21-24}$ в исследуемом резонаторе, а на рис. 1,б - колебаний $EH_{1,1,20-23}$. Азимутальный индекс определялся по резонансной частоте и интервалу между соседними частотами. Видно, что в обоих случаях в указанном интервале частот возбуждается по четыре высокодобротных резонанса, причем наиболее низкочастотный резонанс имеет вид двух близко расположенных пиков. Видно также, что наряду с выделенными резонансными колебаниями в спектре наблюдаются низкочастотные колебания с меньшими амплитудами, обусловленные условиями возбуждения резонатора, выбранной его геометрией, а также качеством изготовления резонатора. Как показали измерения, интервал частот между резонансами HE -колебаний составил 1,46 ГГц, а EH -колебаний - 1,52 ГГц. При этом амплитуды «мешающих» резонансов в случае HE - по сравнению с EH -колебаниями оказались меньшими. Отметим примерное совпадение частот «мешающих» резонансов (например, на рис. 1,а - $f_{2,3} = 32,32$ и $33,88$ ГГц, а на рис. 1,б - $f_{1-3} = 31,17$; $32,35$ и

$34,05$ ГГц соответственно), что может свидетельствовать об их общей природе происхождения.

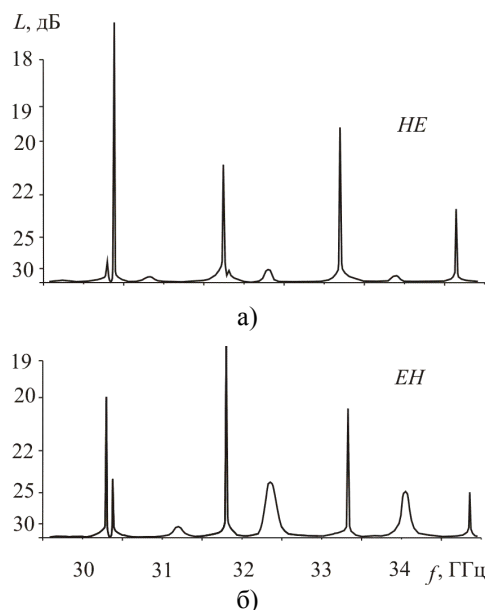


Рис. 1. Регистрограмма участка спектра высших азимутальных колебаний в кварцевом ДДР: а) - HE -; б) - EH -колебания

Самый низкочастотный из выбранных резонансов в случае HE - и EH -колебаний состоял из двух совпадающих частот: 30,28 и 30,36 ГГц, но с разным соотношением амплитуд. По-видимому, такое проявление низкочастотного резонанса связано с междутиповым взаимодействием, обусловленным примерным совпадением резонансных частот HE - и EH -колебаний в этом частотном интервале. Отметим, что характерное распределение амплитуд выбранных резонансов одного типа колебаний сохраняется при изменении величины связи резонатора с СВЧ волноводными трактами в широких пределах и обусловлено распределением полей выбранного типа колебания, геометрией структуры ДДР, а также взаимным расположением СВЧ трактов по отношению к такой структуре.

Помещение на поверхности основного кварцевого резонатора тефлонового диска большего диаметра приводит к понижению резонансных частот выбранных колебаний HE - или EH -типа и изменению их амплитуд при одновременном существенном уменьшении амплитуд мешающих резонансов. На рис. 2 приведены зависимости резонансных частот HE -колебаний (кривые 1-4) и EH -колебаний (5-8) от толщины ТД. Пунктирными кривыми представлены зависимости частот HE -колебаний в СДДР при наличии в ТД тонкого слоя (3-4 мм) дистиллированной воды (кривые 1'-4'), а в случае EH -колебаний - (5'-8'). Видно, что последовательное помещение на кварцевый резонатор ТД толщиной ≤ 10 мм приводит к плавному понижению резо-

нансных частот как HE -, так и EH -колебаний, причем наблюдаемое понижение тем значительнее, чем ниже резонансная частота выбранного колебания. При этом частоты EH -колебаний выше, но степень понижения их частоты больше в случае HE -колебаний. Резонансная частота наиболее низкочастотного EH -колебания в СДДР становится выше резонансной частоты HE -колебания, т. е. помещении вспомогательного диска любой толщины устраняет совпадение резонансных частот обоих типов колебаний.

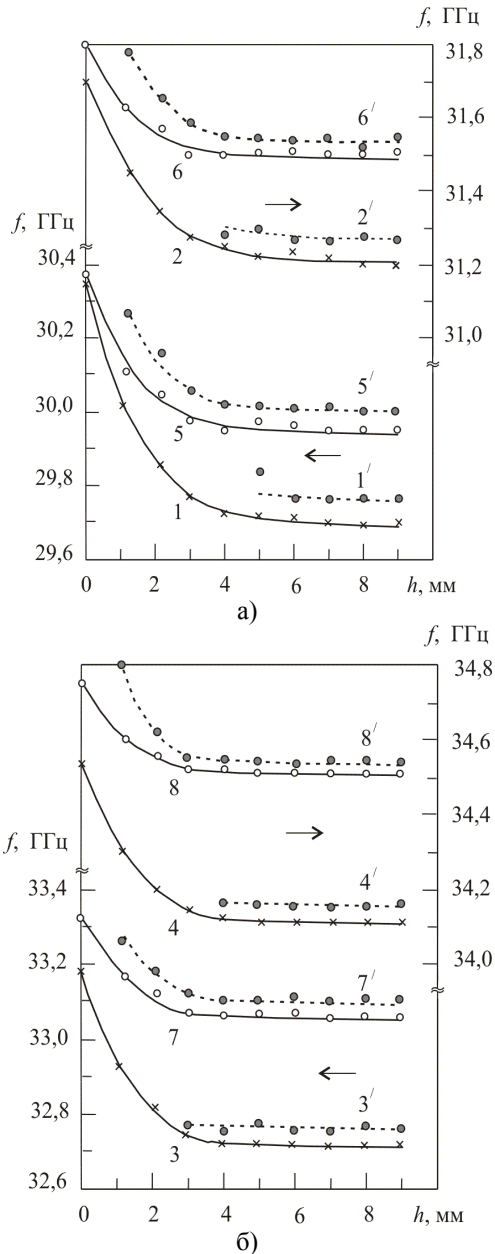


Рис. 2. Зависимости изменений резонансных частот HE - и EH -колебаний от толщины ТД в СДДР

Качественный ход зависимостей резонансных частот при наличии поглощающей жидкос-

ти в СДДР в случае HE - и EH -колебаний имеет различный характер, однако в обоих случаях присутствие воды приводит к повышению резонансной частоты. В случае HE -колебаний в СДДР с водой (кривые 1'-4') частотные зависимости имеют вид прямых, "упирающихся" при малых толщинах ТД в кривую изменения частоты в СДДР без воды. В этом случае наличие воды в СДДР по сравнению с EH -колебаниями приводит к большему повышению частоты, причем это повышение тем больше, чем ниже выбранная частота. Однако обращает на себя внимание тот факт, что при возбуждении резонансов EH -типа в СДДР с водой (кривые 5'-8') они существуют в более широком интервале толщин ТД, причем влияние поглощающей жидкости на частоту тем больше, чем меньше толщина ТД.

На рис. 3 представлены зависимости относительных (нормированных на максимальные значения) изменений амплитуд выбранных четырех резонансов HE -колебаний (рис. 3,а) и EH -колебаний (3,б) от толщины h вспомогательного тефлонового диска в СДДР.

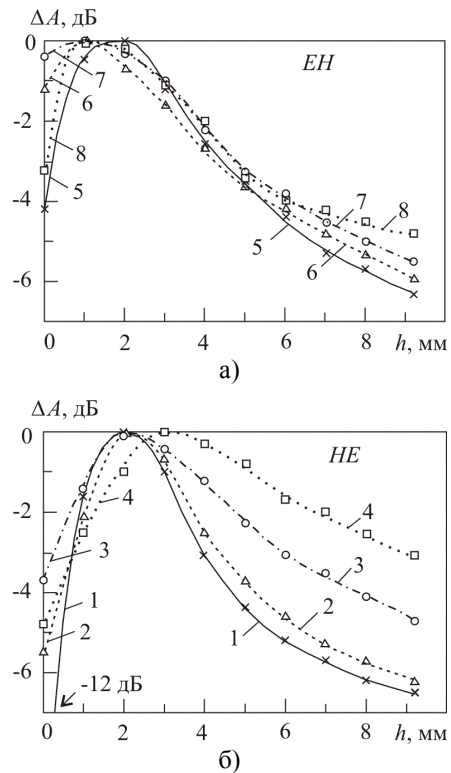


Рис. 3. Влияние толщины ТД на амплитуды выбранных резонансных колебаний в СДДР: а) - HE -; б) - EH -колебания

Кривыми 1-4 представлены колебания, обозначенные как HE_1 (резонансная частота в ДДР - $f_1 = 30,28$ ГГц), HE_2 ($f_2 = 31,72$ ГГц), HE_3 ($f_3 = 33,18$ ГГц) и HE_4 ($f_4 = 34,64$ ГГц), а кривыми 5-8 - соответственно резонансы EH_1

($f_1 = 30,28$ ГГц), EH_2 ($f_2 = 31,80$ ГГц), EH_3 ($f_3 = 33,32$ ГГц) и EH_4 ($f_4 = 34,85$ ГГц). Из сопоставления зависимостей, представленных на этом рисунке, следует качественное совпадение хода этих кривых. Обращает на себя внимание увеличение амплитуд выбранных резонансов при наложении тонких ТД на ДДР. Такое увеличение больше в случае HE -резонансов (например, амплитуда HE_1 -колебания увеличивается на 12 дБ, тогда как колебания EH_1 -только на 4 дБ). В обоих случаях имеет место определенная толщина ТД, при которой амплитуды резонансов становятся максимальными (для HE -колебаний это $h=2-3$ мм, а для EH - $h=1-2$ мм). При больших толщинах сказывается увеличение потерь материала ТД, и амплитуды колебаний монотонно уменьшаются. Однако в случае HE -колебаний они понижаются примерно до исходной амплитуды в ДДР, тогда как в случае EH -колебаний потери ТД сказываются больше.

На рис. 4 представлены аналогичные зависимости относительных амплитуд выделенных колебаний HE - и EH -типа от толщины ТД в СДДР с дистиллированной водой (обозначения на рис. 4 аналогичны обозначениям на рис. 3).

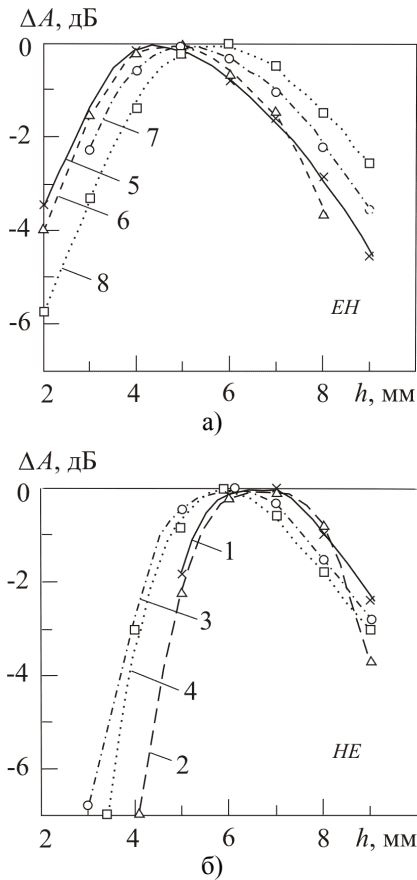


Рис. 4. Зависимости изменений амплитуд выбранных резонансных колебаний от толщины ТД в СДДР с дистиллированной водой: а) - HE -; б) - EH - колебания

Видно, что в СДДР с водой максимальные значения амплитуд в случае HE -колебаний наблюдаются при $h=6-7$ мм, тогда как при EH -колебаниях - при $h=4-5$ мм. Заметим, что степень спада кривых 5-8 в случае EH -колебаний в сторону меньших величин h ТД значительно слабее, чем в случае HE -колебаний. Это объясняет причину существования более широкого интервала приведенных зависимостей от величины h кривых 5'-8' по сравнению с кривыми 1'-4' на рис. 2.

Существенно отметить, что при увеличении толщины вспомогательного диска в СДДР заметно уменьшаются амплитуды «мешающих» низкочастотных резонансов, о чем свидетельствуют зависимости, приведенные на рис. 5. Здесь приведены относительные изменения амплитуд (отнесенные к амплитуде третьего резонанса) двух наиболее интенсивных «мешающих» низкочастотных резонансов с частотами в ДДР $f_{2м} = 32,32$ ГГц и $f_{3м} = 33,88$ ГГц в случае HE -колебаний (кривые 1 и 2), а также $f_{2м} = 32,35$ ГГц и $f_{3м} = 34,05$ ГГц в случае EH -колебаний (1' и 2') - от величины h ТД. Видно, что амплитуды мешающих резонансов заметно уменьшаются с ростом толщины вспомогательного диска, и уже при величине $h \approx 2$ мм они становятся малыми, причем в случае HE -колебаний - в большей степени.

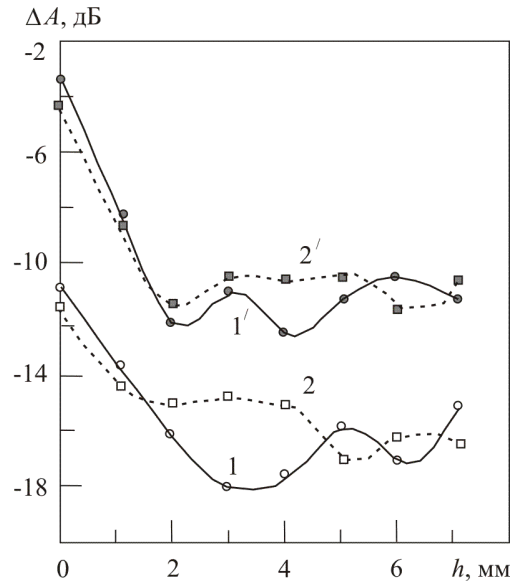


Рис. 5. Зависимости относительных изменений амплитуд низкочастотных резонансов от толщины ТД

На рис. 6 представлены изменения добротности третьего по частоте резонанса HE_3 - и EH_3 -колебания в СДДР от толщины ТД. Собственная частота этих колебаний в ДДР составляет $f_3 = 33,18$ ГГц (HE -типа) и $f_3 = 33,32$ ГГц

(EH -типа). Кривая 1 характеризует изменения добротности Q от величины h в случае HE -колебания в СДДР, кривая 2 - в случае EH -колебания, а $1'$ и $2'$ - при наличии воды в ТД СДДР (для HE - и EH -колебаний соответственно). Как следует из этих зависимостей, увеличение толщины ТД в СДДР приводит к плавному уменьшению добротности выбранного азимутального колебания, обусловленному влиянием потерь вспомогательного диска. Собственная добротность HE -колебания при этом несколько выше, что находится в соответствии с результатами работы [11], где приведены расчетные зависимости радиационной добротности HE - и EH -колебаний от толщины кольцевого дискового диэлектрического резонатора, расположенного между проводящими торцевыми стенками. Отметим также, что в случае EH -колебания кривая зависимости добротности ($2'$) в СДДР с водой простирается дальше в сторону меньших h , и в этом случае, как видно из рис. 6, можно достичь более высоких значений величин Q .

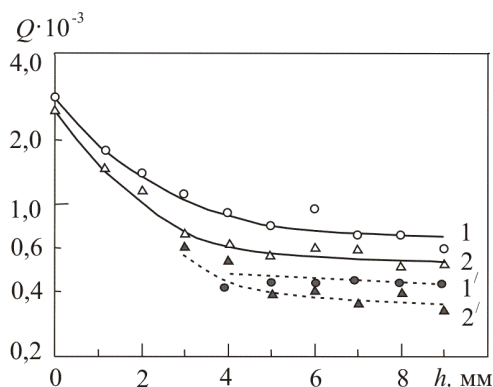


Рис. 6. Зависимости добротности выбранного HE - и EH -колебания в СДДР от толщины ТД

Далее был исследован характер радиального распределения электромагнитного поля высших азимутальных колебаний HE - и EH -типа в ДДР и в СДДР на примере выбранных четырех резонансов. Для этого использовалось поглощающее пробное тело малых поперечных размеров в форме параллелепипеда $5 \times 4 \times 21$ мм³ или $2 \times 2,5 \times 17$ мм³ (поглощающая резина). Своим большим размером такой поглотитель располагался осесимметрично оси резонатора и соосно - относительно продольных осей волноводов СВЧ трактов. Таким образом, в первоначальном положении он не оказывал влияния на передачу сигнала в приемное устройство через резонатор, поскольку энергия высшего азимутального колебания сосредоточена на периферии диска. По мере перемещения пробного тела по радиусу к краю диска резонатора характер изменения амплитуды прошедшего сигнала отражал радиальную зависимость распределения поля в резонаторе. Полу-

ченные зависимости подтвердили закономерность распределения поля, характерную для высших азимутальных колебаний шепчущей галереи на обоих типах колебаний как в случае ДДР, так и в СДДР. Приведенные зависимости позволяют оценить величину радиуса каустики поля для каждого конкретного случая. Как показали исследования, радиус каустики поля тем больше, чем ниже частота колебания в ДДР и смещается в сторону большей величины в случае СДДР.

Выводы. Проведенные исследования показывают, что составной дисковый диэлектрический резонатор на основе дискового диэлектрического резонатора из высококачественного диэлектрика и размещенного на нем вспомогательного диска большего диаметра с меньшей диэлектрической проницаемостью является эффективной структурой для возбуждения в ней высших азимутальных электромагнитных колебаний шепчущей галереи как HE -, так и EH -типов. СДДР на основе кварцевого ДДР с тефлоновым диском выбранных размеров является удобным объектом для возбуждения в нем собственных HE - и EH -колебаний миллиметрового диапазона длин волн. В этом случае в интервале частот 29-35 ГГц помещение ТД толщиной 1-9 мм приводит к понижению резонансных частот на 600-400 МГц в случае HE -колебаний и на 450-250 МГц - в случае EH -колебаний. Амплитуды выбранных колебаний в зависимости от толщины вспомогательного диска вначале увеличиваются, а затем уменьшаются подобным образом, но в случае HE -колебаний степень увеличения амплитуд больше, а уменьшения - меньше. Амплитуды мешающих низкодобротных резонансов в ДДР меньше в случае HE -колебаний, и с увеличением толщины вспомогательного диска в СДДР уменьшаются на обоих типах колебаний практически до полного исчезновения. Наличие дистиллированной воды в СДДР приводит к повышению резонансных частот как HE -, так и EH -колебаний и тем больше, чем ниже выбранная резонансная частота. Амплитуды колебаний в СДДР с водой с ростом толщины вспомогательного диска вначале повышаются, а затем после достижения своего максимального значения они плавно понижаются. При этом добротность отдельно выбранного колебания в СДДР с ростом толщины ТД плавно понижается, причем такой же характер зависимости добротности в СДДР имеет место при наличии в резонансной структуре поглощающей жидкости.

Выбором толщины вспомогательного диска и его материала можно изменять частоту, амплитуду и добротность колебания в СДДР с поглощающим диэлектриком. Интервал изменения толщины вспомогательного диска, при котором можно измерять добротности колебания, шире при возбуждении колебаний EH -типа.

Каустика радиального распределения электромагнитного поля в ДДР и СДДР подтвер-

ждает характер колебаний в этих резонансных структурах, как высших азимутальных колебаний шепчущей галереи. При этом с ростом величин h радиус каустики увеличивается, приближаясь к диаметру ДДР.

Отдельного внимания заслуживают экспериментально обнаруженные закономерности существенного повышения резонансной частоты EH_1 - и EH_4 -колебаний (см. рис. 2) в СДДР при наличии воды с уменьшением толщины вспомогательного диска (в области малых толщин). Несколько неожиданным представляется при этом рост добротности резонансного колебания EH_3 при условии приближения сильно поглощающей жидкости к полю основного резонатора (см. рис. 6, кривая 2'). Такая закономерность подтверждает высказанное в работе [12] предположение об эффекте вытеснения электромагнитного поля слоем жидкости в область части резонатора, незаполненного жидкостью. Интересно отметить, что этот эффект обнаруживается только на высших азимутальных колебаниях EH -типа.

На наш взгляд, составной дисковый диэлектрический резонатор на высших азимутальных колебаниях HE - и EH -типов является перспективным объектом для исследования электрических характеристик различных твердых диэлектрических материалов, из которых изготовлен вспомогательный диск, и открывает новые возможности измерения резонансным способом характеристик материалов с большими потерями.

1. Диэлектрические резонаторы / Под ред. М. Е. Ильченко. - М.: Радио и связь, 1989. - 327 с.
2. *Giordano V., Hartnett J. G., Krupka J. et al.* Whispering-gallery mode technique applied to the measurement of the dielectric properties of langasite between 4 K° and 300 K° // *JEEE Trans. on ultrason., terroelec. and freq. contr.* - 2004. - 51. - P.484-490.
3. *Cherpak N. T., Barannik A. A., Prokopenko Yu. V. et al.* A new technique of dielectric characterization of liquids // In a book "Nonlinear Dielectric Phenomena in Complex Liguides" S.J.Rzoska and V.P.Zhelezny (eds). - Kluwer Academic Publishers, printed in the Netherlands. - 2004. - P.63-76.
4. *Кириченко О. Я., Лавринович О. А., Черпак М. Т.* Электродинамічні особливості квазіоптичних діелектричних резонаторів з капілярюм, заповненим рідиною з великими втратами // *Доп. НАН України.* - 2005. - №8. - С. 72-76.
5. *Баранник О. А., Прокопенко Ю. В., Черпак М. Т. та ін.* Мікрохвильові "аномалії" в радіально-двошаровому квазіоптичному резонаторі, заповненому рідиною з великими втратами // *Доп. НАН України.* - 2005. - №11. - С.68-72.
6. *Eremenko Z. E., Ganapolskii E. M., Vasilchenko V. V.* Exact-calculated resonator method for permittivity measurement of high loss liquids at millimetre wavelength // *Meos. Sci. Technol.* - 2005. - 16. - P.1619-1627.
7. *Голубничая Г. В., Кириченко А. Я., Козут А. Е. и др.* Влияние погружения полусферического диэлектрического резонатора в воду на поля колебания типа шепчущей галереи // *Радиофизика и электроника.* - Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. - 2004. - 9, №2. - С.378-382.
8. *Кириченко А. Я., Козут А. Е., Блудов Ю. В. и др.* Влияние металлического зеркала на вынужденные колебания шепчущей галереи полусферического диэлектрического резонатора // *Радиофизика и электроника.* - Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. - 2005. - 10, №1. - С.20-24.

9. *Кириченко А. Я., Мартынюк С. П., Моторненко А. П. и др.* Волны шепчущей галереи в дисковом диэлектрическом резонаторе, расположенном на диэлектрической подложке // *Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника.* - 2006. - №8. - С.61-65.
10. *Кириченко А. Я., Мартынюк С. П., Моторненко А. П. и др.* Составной дисковый диэлектрический резонатор // 16 Междунар. крымск. конф. "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии": Тез. докл. - Севастополь. - 2006. - С.565-566.
11. *Баранник А. А., Прокопенко Ю. В., Смирнова Т. А. и др.* Кольцевой квазиоптический диэлектрический резонатор с проводящими торцевыми стенками // *Радиофизика и электроника.* - Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. - 2001. - 6, №2. - С.201-205.
12. *Eremenko Z. E. and Ganapolskii E. M.* Method of microwave measurement of dielectric permittivity in small volume of high loss liquid using hemispherical cavity resonator // *Meos. Sci. Technol.* - 2003. - 14. - P.2096-2103.

HIGH AZIMUTH ELECTROMAGNETIC OSCILLATIONS HE - AND EH -TYPE IN THE COMPOSITE DISK DIELECTRIC RESONATOR

A. Ya. Kirichenko, S. P. Martynyuk,
A. P. Motornenko, I. G. Skuratovskiy

The resonance structure composed of the disk dielectric resonator (DDR) and auxiliary dielectric disk the diameter of which is more than DDR diameter has been considered. The disk is located on the main resonator axisymmetrically and its permittivity is less than DDR permittivity. This resonator was named as a composite disk dielectric resonator (CDDR). The resonance peculiarities of the high azimuth electromagnetic HE - and EH -oscillations of the whispering gallery in CDDR for the millimeter wavelength band have been experimentally investigated. The influence of the strongly absorbing liquid located in the auxiliary disk on the oscillations characteristics in this resonator has been studied too.

Key words: disk dielectric resonator; composite disk dielectric resonator; millimeter wavelength band.

ВИЩІ АЗИМУТАЛЬНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ HE - І EH -ТИПІВ В СОСТАВНОМУ ДИСКОВОМУ ДІЕЛЕКТРИЧНОМУ РЕЗОНАТОРІ

О. Я. Кириченко, С. П. Мартинюк,
О. П. Моторненко, І. Г. Скуратовський

Розглянуто резонансну структуру, яка складається із дискового діелектричного резонатора (ДДР), та допоміжного діелектричного диска, діаметр якого більший діаметра ДДР. Диск був розміщений віссиметрично на основному резонаторі, а його діелектрична проникливість була меншою, ніж діелектрична проникливість ДДР. Такий резонатор отримав назву складеного дискового діелектричного резонатора (СДДР). Експериментально досліджені резонансні особливості вищих азимутальних електромагнітних коливань HE - і EH -типів в СДДР міліметрового діапазону довжин хвиль. Вивчено також вплив сильно поглинаючої рідини, яка розміщена в допоміжному диску, на характеристики коливань в такому резонаторі.

Ключові слова: дисковий діелектричний резонатор; складений дисковий діелектричний резонатор; міліметровий діапазон довжин хвиль.

Рукопись поступила 10 мая 2007 г.