

## УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СВЯЗИ КВАЗИОПТИЧЕСКОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА С МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИЕЙ

В. Н. Скрасанов, Р. В. Головащенко, О. Г. Нечаев

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

В  $K_v$  диапазоне радиоволн экспериментально исследованы закономерности связи квазиоптического диэлектрического резонатора (КДР) из лейкосапфира с микрополосковой линией (МПЛ) из армированного фторопласта-4. Предложено организовать связь в пространстве «КДР над МПЛ», что отличается от известного способа связи «КДР на подложке МПЛ». Показано, что при связи способом «КДР над МПЛ» потери энергии резонансного поля в подложке пренебрежимо малы по сравнению с собственными потерями в КДР. Установлено наличие нескольких зон связи, разделённых зонами отсутствия связи как для квази- $E$ , так и для квази- $H$  типов колебаний. Ил. 7. Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.

**Ключевые слова:** квазиоптический диэлектрический резонатор, микрополосковая линия, волны «шепчущей галереи»

Наивысшей добротностью в миллиметровом диапазоне радиоволн при комнатных температурах обладают открытые резонаторы с металлическими фазокорректирующими зеркалами и сапфировые диэлектрические резонаторы, возбуждаемые на высших азимутальных типах колебаний (модах «шепчущей галереи»). Последние принято называть квазиоптическими диэлектрическими резонаторами (КДР). В устройствах, в которых не требуется перестраивать частоту, например, при стабилизации частоты гетеродинов или в фильтрах предпочтение отдают КДР ввиду их превосходства по массогабаритным характеристикам. Это преимущество особенно ощутимо при необходимости разработки модулей в микрополосковом исполнении.

Общепринятым способом связи микрополосковой линии (МПЛ) с КДР является установка резонатора непосредственно на диэлектрическую подложку рядом с полоской [1]. Точно также поступают при возбуждении диэлектрических резонаторов на низших типах колебаний [2, 3]. Совершенно очевидно, что при таком способе связи неизбежны потери  $\delta_s$  на рассеяние запасённой в резонаторе энергии в диэлектрике и в металлическом экране МПЛ, поскольку поле собственного типа колебаний КДР сосредоточено не только внутри резонатора, но и в окружающем пространстве. Потери  $\delta_L$  нагруженного КДР будут складываться из собственных потерь  $\delta_0$  (радиационных и в материале резонатора), внешних потерь  $\delta_{ex}$  на возбуждение волны в МПЛ (потерь в нагрузке), а также из упомянутых выше потерь  $\delta_s$ , вносимых в резонансную систему в результате связи с МПЛ, но отличных от  $\delta_{ex}$ . Вносимые потери  $\delta_s$  ухудшают показатели качества любых

устройств, использующих КДР, поэтому следует стремиться к их снижению. Очевидно, что потери  $\delta_s$  можно не учитывать, если выполнено  $\delta_s \ll \delta_0$ . Поэтому для сапфировых КДР с малым тангенсом диэлектрических потерь и, следовательно, низкими  $\delta_0 \ll \text{tg}(\varepsilon''/\varepsilon')$  поиск новых способов связи с малым уровнем вносимых потерь  $\delta_s$  особенно актуален.

Нами изложены результаты экспериментальных исследований, доказывающих возможность организации распределённой связи сапфирового КДР с МПЛ при выполнении условия  $\delta_s \ll \delta_0$  даже в режиме сильной связи, если расположить МПЛ в пространстве так, что плоскость диэлектрической подложки будет ниже плоскости основания КДР.

**1. Характеристики КДР и идентификация типов колебаний.** Данное экспериментальное исследование выполнено на цилиндрическом КДР из лейкосапфира производства НТК (Институт монокристаллов НАН Украины). Резонатор имел следующие геометрические размеры: диаметр -  $40,11 \pm 0,005$  мм; высоту -  $12,18 \pm 0,03$  мм; диаметр осевого отверстия, использованного для крепления резонатора -  $5,95$  мм. Измеренное отклонение геометрической оси цилиндра от кристаллографической оси составило не более десяти угловых минут. Для теоретических расчётов приняты следующие значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь:  $\varepsilon'_\perp = 11,58$ ;  $\varepsilon''_\perp = 9,39$ ;  $\text{tg}(\varepsilon''/\varepsilon') = 1 \cdot 10^{-5}$  [4].

В диапазоне от 12,5 до 15,5 ГГц был исследован спектр собственных колебаний КДР и выбраны два наиболее добротных и уединённых типа колебаний с различной поляризацией

$EH_{12,1,1}$  и  $HE_{11,2,1}$ . При температуре 20°C резонансные частоты колебаний оказались равными 13244 и 13348 МГц, а собственная добротность составила  $8,2 \cdot 10^4$  и  $9,1 \cdot 10^4$  соответственно. Частоты устанавливались на генераторе стандартных сигналов с погрешностью, не превышающей  $\pm 2$  МГц, что проверялось с помощью электронно-счётного частотомера. Добротность измерялась частотным методом с погрешностью  $\pm 5\%$  при наблюдении резонансной кривой на экране анализатора спектра [5]. Собственной добротностью считалась такая нагруженная добротность, когда уменьшение коэффициента связи не приводило к её дальнейшему снижению.

На рис. 1 показан фрагмент экспериментальной установки, на котором виден КДР, связанный с МПЛ. Как КДР, так и МПЛ устанавливались на массивных платформах с возможностью точной юстировки параллельности основания КДР и диэлектрической подложки МПЛ, а также плавного изменения расстояния между ними в двух плоскостях. Измерения перемещений осуществлялось микрометрическими индикаторами.

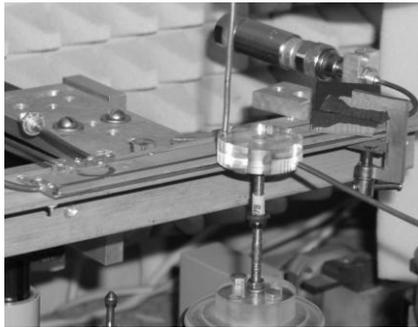


Рис. 1. Фотография КДР с микрополосковым устройством связи и фрагмент установки для исследования распределений полей

Особое внимание уделялось идентификации типов колебаний КДР по результатам анализа распределения полей в пространстве вблизи резонатора, поскольку до настоящего времени отсутствуют точные методы расчёта КДР и, следовательно, надёжного предсказания резонансных частот. Измерение напряжённости электромагнитного поля осуществлялось с помощью приёмных дипольных антенн (зондов), устанавливаемых на каретку сканатора, которая могла перемещаться в трёх плоскостях совместно с зондом.

На рис. 1 видны зонды электрического и магнитного типов, согласованные с жёсткими коаксиальными кабелями. С противоположного конца к кабелям подсоединены детекторные секции.

Выбранный метод исследования распределения полей в КДР, который применялся при изучении печатных антенн [6], мы будем называть методом активного зонда. Для исследования полей в резонаторах более известен метод малых возмущений [5], когда в поле резонатора вносятся рассеивающие или поглощающие пробные тела и регистрируется коэффициент передачи резонатора. Метод активного зонда позволяет проводить надёжную регистрацию распределений компонент электрического и магнитного полей в большом динамическом диапазоне и даёт исчерпывающую информацию для идентификации типов колебаний. Высказанные соображения иллюстрируются записями  $E_z$  компоненты в плоскости основания КДР, а также  $H_\phi$  и  $E_\rho$  компонент - в плоскости параллельной оси КДР (здесь  $\phi, \rho, z$  - цилиндрические координаты, связанные с КДР). Анализ распределений поля на рис. 2 позволяет идентифицировать  $HE_{11,2,1}$  тип колебаний.

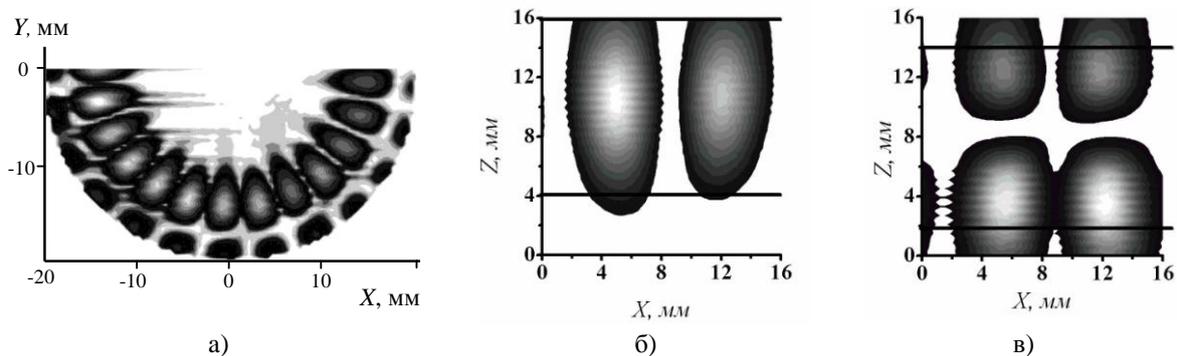


Рис. 2. Пример записи распределений компонент поля для  $HE_{12,2,1}$  типа колебаний КДР: а)  $E_z$  компоненты в плоскости  $Z = \text{const}$ ; б)  $H_\phi$  компоненты в плоскости  $X = \text{const}$ ; в)  $E_\rho$  компоненты в плоскости  $X = \text{const}$

Экспериментальные методы изучения распределения полей продолжают оставаться актуальными, несмотря на широкое распространение

коммерческих программ расчёта полей в сложных структурах конечно-разностными методами. Объясняется это тем, что исследователь не

всегда может априори выделить существенные черты геометрии задачи и не всегда имеет в своём распоряжении достоверные данные о материальных параметрах и их однородности при формализации описания объектов, подлежащих изучению.

Метод активного зонда оказался полезным также при качественном исследовании распределения полей в области связи КДР с МПЛ. На рис. 3 показан пример записи экспериментально полученного распределения суммы  $(H_x + H_z)$  компоненты поля в области связи. На этом же рисунке нанесены оси прямоугольной системы координат, используемой в работе для описания взаимного

расположения КДР и МПЛ в пространстве. Чётко наблюдаются как асимметрия распределения поля в области связи, так и её распределённый в пространстве характер. Значительная напряжённость резонансного поля на диэлектрической подложке МПЛ косвенно указывает на предположительно высокий уровень вносимых устройством связи потерь  $\delta_s$ . И, наконец, анализ записей распределения полей наталкивает на мысль о возможности регулировки коэффициента связи путём изменения взаимного расположения КДР и МПЛ в плоскости  $XOZ$  одновременно по обеим координатам.

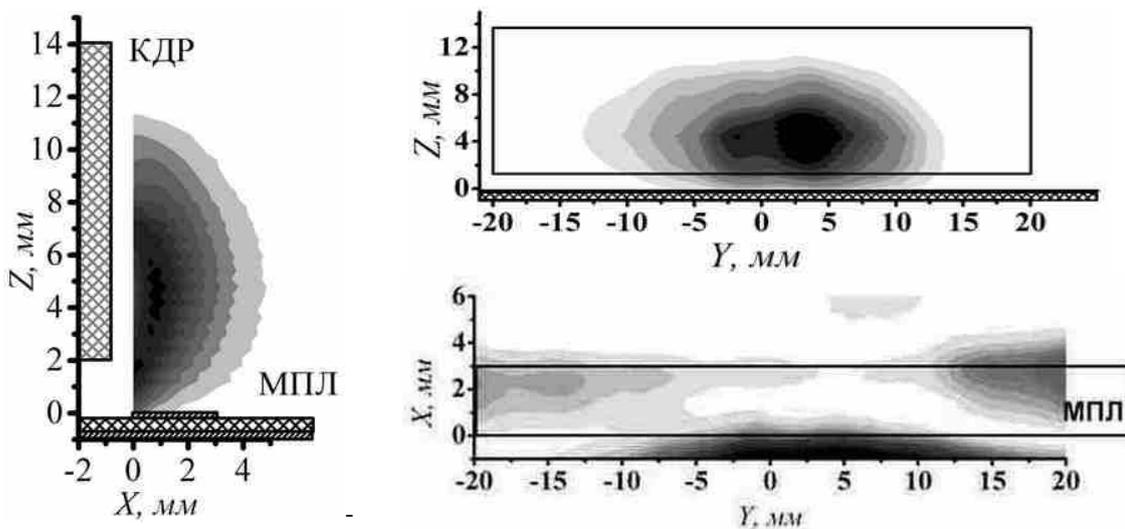


Рис. 3. Система координат для описания взаимного расположения КДР и МПЛ в пространстве и пример записи распределения  $(H_x + H_z)$  компоненты поля в области связи для  $HE_{12,2,1}$  типа колебаний

**2. Способ связи КДР с МПЛ.** В отличие от известного способа связи «КДР на подложке МПЛ» мы предлагаем организовывать связь, располагая КДР в пространстве над подложкой МПЛ («КДР над МПЛ»). При таком способе рассеяние резонансного поля КДР в подложке может оказаться пренебрежимо малым.

Микрополосковые линии изготавливались из армированного фторопласта-4 (ФАФ-4). Известны значения диэлектрических проницаемостей в направлении, перпендикулярном слоям пластины  $(2,6 \pm 0,2)$ , и в направлении, параллельном слоям  $(3,0 \pm 0,3)$ , а также значения  $\text{tg}(\varepsilon''/\varepsilon')$  -  $1 \cdot 10^{-3}$  и  $3,5 \cdot 10^{-3}$  соответственно [7]. Изучалась связь с МПЛ, изготовленных из материала двух толщин:  $t_1 = 1,0$  мм и  $t_2 = 0,5$  мм. Ширина полосок  $W$  рассчитывалась так, чтобы волновое сопротивление МПЛ было равным 50 Ом. Для двух МПЛ имеем:  $W_1 = 3,0$  мм и  $W_2 = 1,4$  мм соответственно. На рис. 1 показана МПЛ из материала  $t_1 = 1,0$  мм.

Платы МПЛ с помощью полосково-коаксиальных переходов были согласованы с жёстким кабелем, который, в свою очередь, через стандартные коаксиальные переходы подсоединяется к гибким коаксиальным кабелям измерительной аппаратуры. На плате МПЛ изготовлен рефлектометр, предназначенный для измерения коэффициента отражения от КДР.

Измерялся резонансный коэффициент передачи КДР, который был связан одновременно с двумя МПЛ (рис. 4). Местоположение левой МПЛ по отношению к КДР во время измерений не изменялось ( $d_0 = 2$  мм,  $h_0 = 5$  мм), в то время как правая МПЛ была установлена с возможностью перемещения вдоль координаты  $OX$  (переменная  $d$ ) и вдоль координаты  $OZ$  (переменная  $h$ ) относительно КДР. Точка ( $d = 0$  мм,  $h = 0$  мм) соответствует касанию края полоски с кромкой КДР. Измерялся модуль коэффициента передачи  $S_{13}$  между первым и третьим портами,

тогда как ко второму и к четвертому портам были подсоединены согласованные нагрузки. Коэффициент направленности  $20\lg(S_{23}/S_{13})$  составлял не менее  $-20$  дБ, что косвенно указывает о возбуждении в КДР преимущественно режима бегущей волны и реализации схемы направленного фильтра.

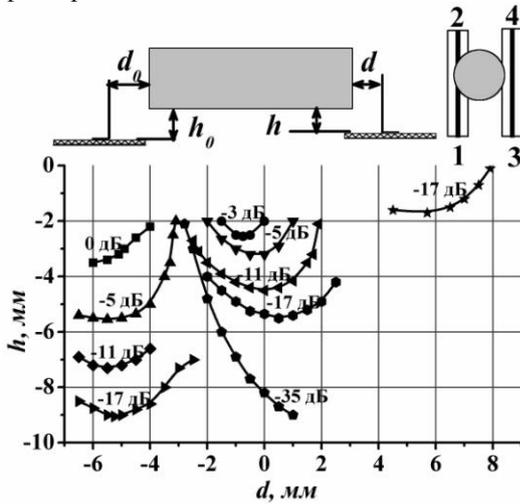


Рис. 4. Линии равного коэффициента передачи при изменении взаимного расположения КДР и МПЛ в пространстве

Зависимости  $S_{13}(d, h)$  на рис. 4 представлены в виде линий равного коэффициента передачи. За нулевой уровень выбирался максимальный коэффициент передачи в области исследованного пространства взаимных положений МПЛ и КДР. Значения  $S_{13}(d, h)$  для области  $h < 2$  мм под КДР не нанесены на график, поскольку кривые теряли монотонность. Уровень  $-35$  дБ соответствовал шумовому пределу измерений. Из рис. 4 наглядно видно, что в пространстве «КДР над МПЛ» выделяются две зоны, в которых может быть реализована эффективная связь, разделённые ярко выраженной граничной областью, в которой колебания в КДР не возбуждаются расположенной рядом МПЛ. Представлена также одна кривая  $-17$  дБ, начинающаяся из зоны «КДР на подложке МПЛ». Эта зона также отделена от зоны связи «КДР над МПЛ» граничной областью слабой связи, хотя и менее выраженной. Графики на рис. 4 получены для  $EH_{12,1,1}$  типа колебаний и МПЛ толщиной  $t_1 = 1,0$  мм. Для других типов колебаний, в том числе с другой поляризацией, а также для МПЛ толщиной  $t_2 = 0,5$  мм зависимости имели качественно такой же вид. Объяснение наличия нескольких зон связи и граничных областей, где связь отсутствует, будет дано в следующем разделе.

На рис. 5 представлены результаты измерений нагруженной добротности  $Q_L(h)$ , а также собственной добротности КДР с учётом рассеяния в подложке  $Q_{s0}(h)$ . Добротность  $Q_{s0}(h)$  учитывает собственные потери  $\delta_0$  КДР и потери  $\delta_s$  КДР в подложке ФАФ-4 ( $t_1 = 1,0$  мм). Результаты измерений приведены для  $HE_{11,2,1}$  типа колебаний. Анализ зависимостей позволяет сделать вывод о преимуществе зон связи «КДР над МПЛ» по сравнению с зоной связи «КДР на подложке МПЛ».

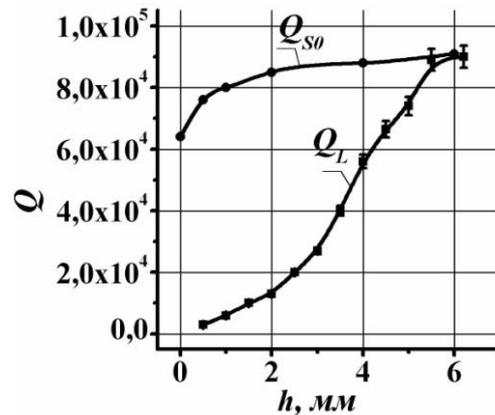


Рис. 5. Зависимости нагруженной добротности  $Q_L$  и собственной добротности с учётом рассеяния в подложке  $Q_{s0}$  от расстояния  $h$  между плоскостью основания КДР и плоскостью подложки МПЛ

Зависимости нагруженной добротности были измерены между двумя МПЛ в режиме направленного фильтра и  $d_0 = d = -1,5$  мм. Собственная добротность с учётом рассеяния  $Q_{s0}(h)$  определялась следующим образом. Измерялась зависимость нагруженной добротности КДР, к основанию которого с заведомо большого расстояния  $h$  подносилась пластина ФАФ-4 плоскостью, с которой была снята металлизация. При измерениях коэффициент связи выбирался минимально достаточным для того, чтобы измерить зависимость в диапазоне от бесконечного удаления пластины до случая её касания с плоскостью основания. Затем, вычислялась обратная величина добротности рассеяния  $Q_s^{-1}(h)$  как разность обратной величины нагруженной добротности КДР с пластиной ФАФ-4 и нагруженной добротности КДР при бесконечном удалении пластины. Наконец, собственная добротность с учётом рассеяния в подложке вычислялась по формуле:  $Q_{s0} = Q_s Q_0 / (Q_s + Q_0)$ , где  $Q_0 = 9,1 \cdot 10^4$  – собственная добротность КДР. Данные расчётов сведены в таблицу и показаны на рис. 5.

Результаты расчёта добротности рассеяния в подложке и собственной добротности КДР

$h$ , мм	$Q_s$	$Q_{s0}$
4,0	$2,7 \cdot 10^6$	$8,8 \cdot 10^4$
2,0	$1,5 \cdot 10^6$	$8,5 \cdot 10^4$
1,0	$7,2 \cdot 10^5$	$7,9 \cdot 10^4$
0,5	$4,9 \cdot 10^5$	$7,6 \cdot 10^4$
0,0	$2,2 \cdot 10^5$	$6,4 \cdot 10^4$

Из зависимостей на рис. 5 и данных таблицы можно сделать вывод, что при удалении КДР от подложки МПЛ на 1-2 мм и менее становится ощутимым уровень вносимых потерь устройством связи. Зависимость коэффициента передачи  $S_{13}(h)$  при  $h < 2$  мм может быть корректно интерпретирована только с учётом наличия вносимых устройством связи дополнительных потерь  $\delta_s$ .

**3. Зависимость коэффициента связи от параметров МПЛ и типа колебаний в КДР.** Как уже было сказано, МПЛ возбуждает в КДР преимущественно бегущую волну и, следовательно, при включении КДР по схеме режекторного фильтра отражённая волна от резонатора практически отсутствует. Результаты измерений при таком включении приведены на рис. 6 для квази- $E$  и квази- $H$  поляризованных типов колебаний. Качественно зависимости для различных типов колебаний КДР сходны между собой, однако полная режекция или наоборот отсутствие возбуждения колебаний в КДР достигаются для значительно различающихся взаимных положений МПЛ и КДР в пространстве. Это, в частности, может быть использовано для селекции типов колебаний при возбуждении КДР. Таким образом, зонный характер возбуждения КДР посредством МПЛ характерен и для включения резонатора по схеме режекторного фильтра.

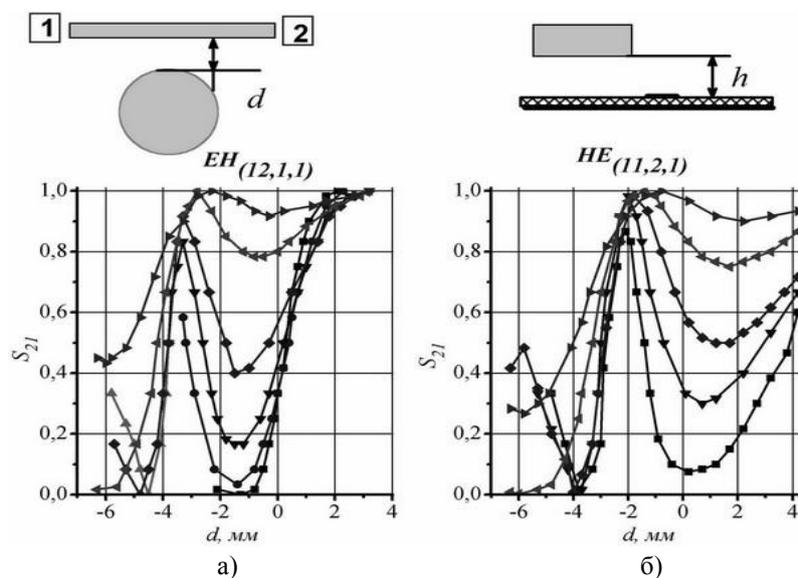


Рис. 6. Зависимость коэффициента передачи в режиме полосо-пропускающего фильтра от взаимного расположения КДР и МПЛ в пространстве для: а)  $EH_{12,1,1}$ ; б)  $HE_{11,2,1}$  типов колебаний: —■—  $h=2$  мм; —●—  $h=2,5$  мм; —▲—  $h=2,5$  и  $3,0$  мм; —▼—  $h=3,0$  мм; —◆—  $h=3,5$  мм; —◀—  $h=4,5$  мм; —▶—  $h=5,5$  мм

Пространственное расположение зон возбуждения или наоборот отсутствия возбуждения КДР зависит и от параметров микрополосковой линии даже в случае одинакового материала диэлектрической подложки. Зависимости на рис. 7 иллюстрируют сказанное. В частности, если края полоски и КДР имеют одинаковую координату по оси  $Ox$  (нулевое значение  $d$  на графике), то для МПЛ из материала миллиметровой толщины может быть достигнута полная режекция сигнала, тогда как для МПЛ из материала полумиллиметровой толщины возбуждение КДР практически отсутствует.

Экспериментально установленные в данной работе закономерности (наличие пространственных зон возбуждения или отсутствия возбуждения КДР и зависимость границ зон от типа колебаний КДР и параметров МПЛ) могут быть, по видимому, количественно объяснены, если воспользоваться методикой расчёта, изложенной в работе [8]. Её суть состоит в пространственном интегрировании компонент поля КДР, которые топологически соответствуют полю МПЛ. Однако, зная распределение компонент поля КДР и МПЛ в пространстве взаимодействия, можно уже сейчас дать качественное объяснение наблюдающимся закономерностям.

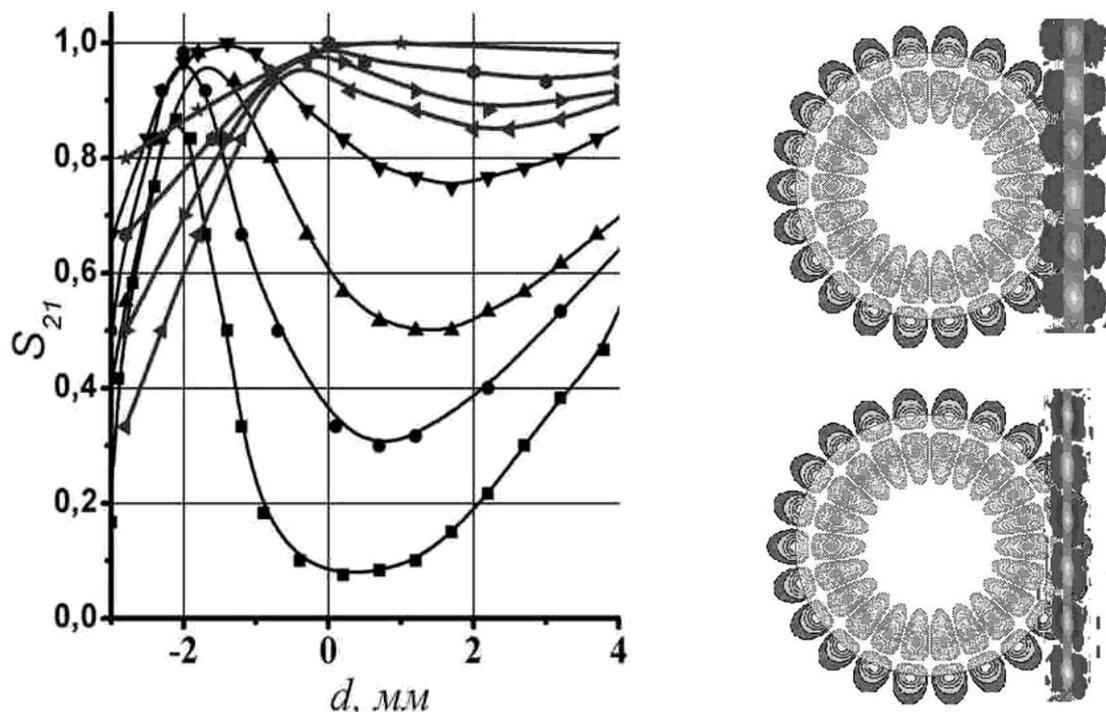


Рис. 7. Зависимость коэффициента передачи в режиме полосоно-пропускающего фильтра от взаимного расположения КДР и МПЛ в пространстве для  $HE_{11,2,1}$  типа колебаний и МПЛ с различной толщиной диэлектрической подложки:  $\blacksquare$   $h=2,0$  мм ( $W=3$  мм);  $\bullet$   $h=3,0$  мм ( $W=3$  мм);  $\blacktriangle$   $h=3,5$  мм ( $W=3$  мм);  $\blacktriangledown$   $h=4,5$  мм ( $W=3$  мм);  $\blacktriangleleft$   $h=1,8$  мм ( $W=1,4$  мм);  $\blacktriangleright$   $h=2,5$  мм ( $W=1,4$  мм);  $\circ$   $h=3,5$  мм ( $W=1,4$  мм);  $\star$   $h=4,5$  мм ( $W=1,4$  мм)

Объясним, например, отмеченный выше факт существенного различия в возбуждении КДР с помощью МПЛ различной толщины. В правой части рис. 7 приведены расчётные топологии  $E_z$  компоненты полей для  $HE_{11,2,1}$  типа колебаний КДР и квази- $T$  волн двух МПЛ. (Расчёт поля КДР выполнен Поединчуком А. Е. и Свищёвым И. О. на основе аналитического решения задачи о собственных колебаниях, а поля МПЛ – Баранником А. А. с помощью пакета Microwave Studio). Полупрозрачные области на рис. 7 соответствуют контурам КДР и полоскам МПЛ. Соседние «пятна» поля как для КДР, так и для МПЛ находятся в противофазе друг к другу. В случае ФАФ-4 ( $t_1 = 1,0$  мм) на протяжении двух длин волн вдоль линии связи поля МПЛ и КДР находятся в фазе друг к другу (условие фазового синхронизма при распределённом возбуждении выполнено). В случае ФАФ-4 ( $t_2 = 0,5$  мм) это условие выполнено не совсем чётко. Более существенно, однако, то, что во втором случае в пятна поля КДР одновременно попадает поле центральной части полоски МПЛ и противофазные поля по обе стороны от полоски. Это означает, что КДР одновременно возбуждается противофазными источниками поля. Очевидно, что в случае интегрального равенства распределения их ам-

плитуд колебания в резонаторе наблюдаться не будут.

Таким образом, отсутствие связи МПЛ с КДР можно объяснить принципом суперпозиции при возбуждении КДР распределёнными в пространстве противофазными полями МПЛ. Аналогично можно объяснить наличие границы между двумя зонами возбуждения в пространстве «КДР над МПЛ».

**Выводы.** Нами предложено возбуждать КДР с помощью МПЛ, размещаемой в пространстве под резонатором. Показано, что при таком способе возбуждения вносимые потери в КДР из-за рассеяния в подложке могут быть сделаны пренебрежимо малыми даже в случае сильной связи. Экспериментально исследованы закономерности такой связи.

Авторы благодарны Н. Т. Черпаку за предложение провести данное исследование на предоставленном сапфировом КДР.

1. Cros D., Guillon P. Whispering gallery dielectric resonator mode for W-band devices // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. - 1990. - МТТ-38, N11. - P.1667-1674.
2. Ильченко М. Е., Мелков Г. А., Мирских Г. А. Твёрдотельные СВЧ фильтры. - Киев: Техніка, 1977. - 120 с.
3. Гольдберг Л. Б. Теоретическое исследование связи диэлектрического резонатора с микрополосковой линией передачи // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. - 1983. - Вып.7. - С.41-47.

4. Егоров В. Н., Токарева Е. Ю. Метод металлодиэлектрического резонатора в измерениях параметров радиоматериалов // Измерительная техника. - 2005. - №9. - С.65-70.
5. Валитов Р. А., Скресанов В. Н., Фисун А. И. Измерение добротности // Измерения на миллиметровых и субмиллиметровых волнах. Методы и техника / Под ред. Р. А. Валитова и Б. И. Макаренко. - М.: Радио и связь, 1984. - С.221-236.
6. Frayne P. G. Microstrip field diagnostics. In: Handbook of microstrip antennas / Edited by J. R. James, P. S. Hall. Peter Peregrinus Ltd, 1989. - 2. - P.1193-1225.
7. Справочник по расчёту и конструированию СВЧ полосковых устройств / Под ред. В. И. Вольмана. - М.: Радио и связь, 1982. - 328 с.
8. *Khairuddin I. U., Hunter I. C.* Computation of coupling between whispering gallery mode dielectric resonators and a microstrip transmission line // IEEE Proc. Microwave Antennas Propag. - 1995. - 142, N3. - P.265-268.

#### IMPROVEMENT OF COUPLING CHARACTERISTICS OF SAPPHIRE QUASIOPTICAL DIELECTRIC RESONATOR BY MICROSTRIP LINE

V. N. Skresanov, R. V. Golovashchenko,  
O. G. Nechayev

Experimentally regularities of coupling a quasioptical dielectric resonator (QDR) to a microstrip line are discussed in  $K_u$ -band. It is offered to organize coupling in space "a microstrip line placed under QDR", which differs from a known mode of connection "QDR placed on a microstrip substrate". It is shown, that at connection by a mode "a microstrip line placed under QDR" an energy

loss of a resonance field in a substrate are negligible small as contrasted to natural energy losses in QDR. Presence of several coupling areas, disjointed by zones of lack of coupling both for quasi-E, and for quasi-H oscillation modes is revealed.

**Key words:** Quasioptical dielectric resonator, microstrip line, whispering gallery mode resonator.

#### ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВ'ЯЗКУ КВАЗІОПТИЧНОГО ДІЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЗОНАТОРА З МІКРОПОЛОСКОВОЮ ЛІНІЄЮ

В. М. Скресанов, Р. В. Головащенко,  
О. Г. Нечаєв

В  $K_u$  діапазоні радіохвиль експериментально досліджено закономірності зв'язку квазіоптичного діелектричного резонатора (КДР), виготовленого із лейкосапфіра, при збудженні мікροстрічковою лінією (МСЛ), яка виготовлена із армованого фторопласта-4. Запропоновано розподілений зв'язок виконувати у просторі „КДР над МСЛ”, що відрізняється від відомого способу зв'язку „КДР на підкладці МСЛ”. Показано, що при виконанні зв'язку у просторі „КДР над МСЛ” втрати енергії поля в підкладці стануть незрівнянно малими у порівнянні із власними втратами КДР. Установлено наявність декількох зон зв'язку, які розділені зонами відсутності зв'язку як для квазі-Е, так і для квазі-Н типів коливань.

**Ключові слова:** квазіоптичний діелектричний резонатор, мікροстрічкова лінія, хвилі „галереї, яка шепоче”.

*Рукопись поступила 27 февраля 2007 г.*