

07; 09

© 1990

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕБАНИЙ
В КВАЗИОПТИЧЕСКОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ

А.Я. К и р и ч е н к о, С.Н. Х а р ь к о в с к и й

Одними из фундаментальных явлений, с которыми сталкиваются исследователи и разработчики при создании высокочастотных систем СВЧ и КВЧ диапазонов, являются эффекты в точках совпадения частот собственных колебаний резонаторов. Основные исследования природы явлений резких изменений частот и добротностей колебаний вблизи точек совпадения частот, проведенных в закрытых цилиндрических резонаторах [1], получают развитие при исследовании различных типов открытых квазиоптических резонаторов [2, 3], при создании строгой теории открытых резонаторов [4], а также при исследовании дисковых диэлектрических резонаторов (ДДР) [5, 6].

При экспериментальном исследовании взаимодействия азимутальных колебаний высшего порядка в ДДР авторами данного сообщения замечено, что вблизи точек совпадения частот колебаний распределение амплитуды высокочастотного поля по азимутальной координате имеет периодический характер с периодом, значительно большим длины волны колебаний, возбуждаемых в ДДР. С целью изучения этого явления исследуется динамика структуры высокочастотного поля вблизи точек совпадения частот азимутальных колебаний в ДДР и его модификациях.

Используются резонаторы в виде диска и системы из двух основных дисков с регулируемым расстоянием между ними. ДДР возбуждаются диэлектрическим волноводом (ДВ). Резонаторы и ДВ изготавливаются из фторопласта-4. Взаимная ориентация ДДР и ДВ обеспечивает возбуждение в ДДР колебаний с определенной поляризацией. Измерения проводятся в режимах режекции и „на проход“. Поляризация колебаний постоянно контролируется в процессе эксперимента, а распределение высокочастотного поля вдоль высоты, радиуса и азимута ДДР соответственно по координатам z , r и φ исследуется методом возмущающего зонда.

Исследования проводятся в диапазоне частот 27.0–47.0 ГГц в режиме свипирования частоты.

При возбуждении ДДР с радиусом $R = 39.0$ мм и высотой $H = 14.4$ мм наблюдаются две сетки резонансных частот в исследуемом диапазоне. Одна из них соответствует низшему типу колебаний, имеющему одну вариацию поля по z и по r и $2n$ - по φ , вторая - высшему аксиальному типу, имеющему две вариации поля по z , одну - по r и $2n$ - по φ . Вдали от точки

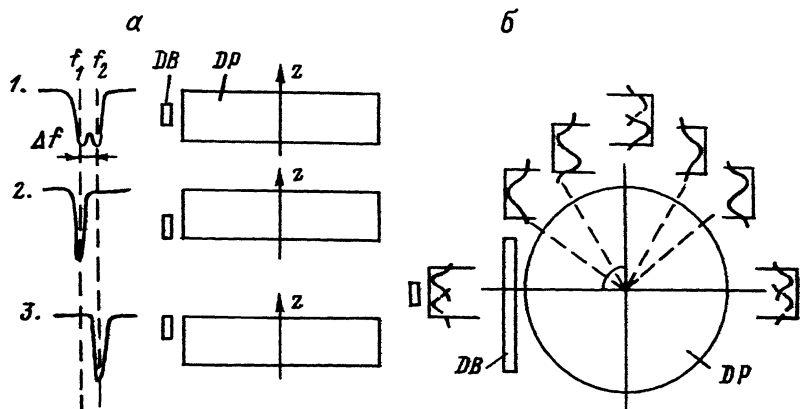


Рис. 1.

совпадения частот этих колебаний они существуют независимо, имея каждый свое указанное выше распределение полей. Вблизи точки совпадения, как известно, происходит взаимное „отталкивание” резонансных частот (график Вина) и „гибридизация” полей [1], которые в рассматриваемом случае проявляются следующим образом.

На рис. 1,а показаны осциллограммы резонансной кривой вблизи точки совпадения частот собственных колебаний ДДР — $EH_{23,1}$ и $EH_{22,1,2}$ при разных положениях возбуждителя (ДВ сечением $7.2 \times 3.4 \text{ мм}^2$) по высоте резонатора, схематически обозначенные рядом. При расположении возбуждителя в центре по высоте резонатора наблюдаем два резонансных пика с частотами $f_1 = 27.59 \text{ ГГц}$ и $f_2 = 27.64 \text{ ГГц}$ (осциллограмма 1) с разнесом частот $\Delta f = f_2 - f_1$. При этом энергия поля, соответствующая этим частотам, в отдельных точках по φ локализована в разных областях по высоте резонатора, т.е. имеем два „расщепленных в пространстве” по z колебания. Это видно при смещении возбуждителя вдоль z (осциллограммы 2, 3). Такое распределение повторяется с периодом $T_\varphi = \pi$ при движении вдоль азимутальной координаты относительно возбуждителя, а в областях вблизи $\varphi = \pi/2$ и $3\pi/2$ поля колебаний, соответствующие f_1 и f_2 , меняются местами. Это показано на рис. 1,б, где схематически изображены ДДР и ДВ с вынесенными эпюрами распределения поля в отдельных радиальных сечениях резонатора у цилиндрической границы диэлектрика. В других областях по φ наблюдается распределение полей двух колебаний, которые с одной и двумя вариациями по z и разнесены в пространстве по φ .

Аналогичный характер распределения амплитуды электромагнитного поля наблюдается и в точке совпадения частот колебаний $HE_{34,1,1}$ и $HE_{32,1,2}$. ($f_1 = 35.75 \text{ ГГц}$ и $f_2 = 35.83 \text{ ГГц}$).

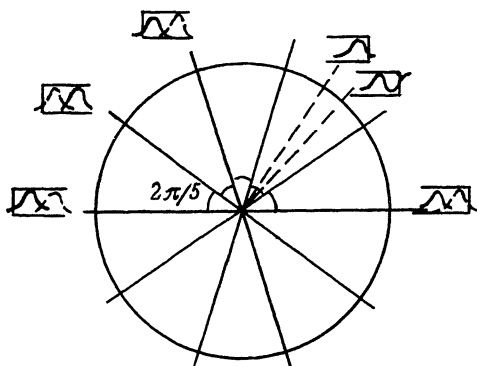


Рис. 2.

Периодический характер распределения полей по φ с меньшим периодом наблюдается в точках совпадения частот низшего типа колебания и высшего радиального типа. При возбуждении ДДР с $R = 53.0$ мм и $H = 7.2$ мм реализуется точка совпадения частот колебаний $EH_{52,1,1}$ и $EH_{46,2,1}$. Аналогично описанным выше случаям вдали от точки совпадения частот наблюдаются две сетки резонансных частот колебаний. Им соответствуют различные распределения полей по радиусу и азимуту. Вблизи точки совпадения частот каждому резонансному пику соответствуют свои поля, в определенных областях по φ разнесенные по радиусу (рис. 2). Эти области повторяются периодически с $T_\varphi = 2\pi/5$.

Подобное преобразование полей наблюдается в системе двух сососных ДДР. Известно, что при сближении ДДР в такой системе каждая резонансная частота f_n расщепляется на две f_n^i и f_n^j , соответствующие четному и нечетному колебаниям такой системы. В эксперименте система из двух ДДР с $R = 39.0$ мм и $H = 7.2$ мм возбуждается ДВ сечением 7.2×3.4 мм². Путем изменения расстояния между резонаторами реализуются точки совпадения частот f_n^i и f_{n-1}^j . При этом наблюдается периодический характер азимутального распределения полей с $T_\varphi = 2\pi$ как следствие разделения колебаний между ДДР в областях $\varphi = 0, \pi, 2\pi$.

Следует отметить, что периодический характер распределения полей по азимуту ДДР наблюдается в режимах бегущих и стоячих волн, возбуждаемых в них, в случаях „отталкивания“ и вырождения частот колебаний, при разной степени связи возбудителя с колебаниями вплоть до „внутреннего возбуждения“ [1] одного из них в точке совпадения частот. Такая особенность наблюдается для колебаний одной поляризации EH или HE и не наблюдается

для колебаний с разной поляризацией — ЕН и НЕ и одинаковым распределением полей по координатам.

Наблюдаемый периодический характер распределения полей свойственен распределенным резонансным системам, вдоль одного из размеров которого укладывается не менее нескольких длин волн возбуждаемых колебаний. Это явление можно представить как результат наложения двух азимутальных волн с одинаковой поляризацией и с разными фазовыми скоростями. В областях приблизительного фазового синхронизма в результате междутиповой связи происходит взаимное преобразование полей колебаний, имеющих одну и две вариации поля по высоте (радиусу) резонатора. При этом периодический характер распределения полей по азимуту и „расщепление в пространстве“ полей по высоте (радиусу) является следствием распределенного взаимодействия колебаний по длине окружности резонатора, а конечная величина расщепления частот Δf — следствием влияния локальных неоднородностей (в частности элемента связи). В результате образуется „стоячая“ волна по азимутальной координате, аналогичная пространственным биениям двух волн, бегущим в одном направлении. Период этой волны обратно пропорционален разнице фазовых скоростей связывающихся волн. В области узлов этой волны происходит преобразование полей двух колебаний.

Обнаруженное явление периодического преобразования полей в распределенных резонансных системах, возникающее при взаимодействии колебаний в точках совпадения их частот, объясняет специфические характеристики поведения частоты и добротности колебаний в ДДР [5, 6] и может быть полезно при выяснении природы ряда явлений в открытых резонаторах [2–4]. Его необходимо учитывать, а в ряде случаев использовать при создании высокодобротных резонансных систем миллиметрового, субмиллиметрового и оптического диапазонов волн.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Штейншлейгер В.Б. Явления взаимодействия волн в электромагнитных резонаторах. М.: Оборонгиз, 1955. 114 с.
- [2] Валитов Р.А., Дюбко С.Ф., Камышан В.В., Кузьмичев В.М., Макаренко Б.И., Соколов А.В., Шейко В.П. Техника субмиллиметровых волн. М.: Сов. радио. 1969. 432 с.
- [3] Кошпаренок В.Н., Мележик П.Н., Поединчук А.Е., Шестопалов В.П. // ДАН СССР. 1984. Т. 279. № 5. С. 1114–1117.
- [4] Мележик П.Н., Поединчук А.Е., Тучкин Ю.А., Шестопалов В.П. // ДАН СССР. 1988. Т. 300. № 6. С. 1356–1359.
- [5] Кириченко А.Я., Логвиненко А.И., Солодовник В.А., Харьковский С.Н. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. Вып. 7. С. 1037–1040.

Институт радиофизики и электроники
АН УССР, Харьков

Поступило в Редакцию
14 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 6

26 марта 1990 г.

04; 05.2

© 1990

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ ЧЕРЕЗ ДИНАМИЧЕСКУЮ ТРЕЩИНУ В ШГК

В.М. Ф и н к е л ь, Б.Б. К о н к и н

Определены пороговые напряжения при внешнем электрическом пробое через полость динамической трещины. Проанализированы условия, способствующие их уменьшению в сравнении с пробивной напряженностью по поверхности диэлектриков. Обсуждается механизм развития очага пробоя впереди регистрируемого в отраженном свете фронта разрушения.

В работе исследован электрический пробой через динамическую трещину и выявлены особенности его развития.

1. Известно [1, 2], что пробивная напряженность воздуха составляет 3 кВ/мм. При пробое по поверхности диэлектриков это значение уменьшалось и составляло для монокристаллов *NaCl* 2.1-2.8 кВ/мм и *LiF* 2.2-2.9 кВ/мм. Через динамическую трещину пробивная напряженность понижалась до 0.9 кВ/мм. Регистрация процесса разрушения образцов *NaCl* (рис. 1,а) высокоскоростной установкой ВФУ-1 показала, что при этом пробой развивался параллельно фронту через 15-30 мкс после проникновения трещины в межэлектродную зону.

При распространении скола в ШГК появляются свободные [3] и связанные [4] электрические заряды. В вершине движущейся трещины концентрируется отрицательный заряд с линейной плотностью $\sim 10^{-12}$ Кл/мм [5]. В полости трещины находятся [3] ионы и электроны. Свежеобразованные поверхности несут на себе заряд, плотность которого достигает $\sim 10^{-9}$ Кл/мм² [6]. Это приводит к возникновению электрического поля между берегами трещины напряженностью ~ 100 кВ/мм. Однако вследствие релаксации плотность образовавшихся зарядов уже через 4 мкс после разрушения уменьшается более чем на два порядка [6]. Поскольку внешний пробой развивался спустя 15-30 мкс после проникновения скола в межэлектродную зону, то понижение порогового напряжения вряд ли обуславливается электрическим полем динамической трещины.