

09

Вынужденные колебания типа шепчущей галереи в частично экранированном полусферическом диэлектрическом резонаторе

© А.Е. Когут, В.В. Кутузов, В.А. Солодовник, С.Н. Харьковский

Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины,
Харьков

E-mail: kogut@ire.kharkov.ua

В окончательной редакции 20 июня 2001 г.

Экспериментально исследованы колебания типа шепчущей галереи, возбуждаемые в частично экранированном полусферическом диэлектрическом резонаторе сосредоточенными источниками излучения при симметричном и асимметричном расположении диэлектрической полусферы и цилиндрического экрана. Приведены характеристики колебаний в исследуемом резонаторе и аналогичном ему открытому диэлектрическому резонаторе. Показана перспективность использования рассмотренного резонатора в стабильных твердотельных генераторах миллиметрового диапазона.

Открытые диэлектрические резонаторы (ДР) с колебаниями типа шепчущей галереи (ШГ) обладают уникальными свойствами в диапазоне миллиметровых волн, к которым следует отнести высокую собственную добротность и сравнительно разреженный спектр вынужденных колебаний [1]. Указанные свойства делают привлекательными такие резонаторы при использовании их в качестве колебательных систем активных приборов и устройств миллиметрового диапазона длин волн [2].

Наряду с достоинствами устройств на основе открытых ДР обладают и недостатками, к числу которых следует отнести их открытый характер. Это приводит к непредусмотренным электромагнитным связям с другими элементами схемы. В работе [3] показано, что при экранировании открытой диэлектрической сферы металлическим цилиндром, открытым с торцов, электромагнитное поле колебаний локализуется внутри резонансной системы. При определенных соотношениях размеров сферы и

цилиндра в такой резонансной системе могут возбуждаться колебания типа ШГ, добротность которых превосходит добротность колебаний аналогичного открытого диэлектрического резонатора вследствие локализации поля в диэлектрике вблизи его сферической поверхности. Для использования высокодобротных колебаний на практике, в частности в качестве рабочих мод генераторов миллиметровых волн, необходимы исследования устойчивости их характеристик к неоднородностям и нарушениям структуры резонатора. Например, при его изготовлении и использовании возможно возникновение асимметрии между диэлектрической полусферой и экраном, а диод в поле резонатора является неоднородностью.

Целью данной работы является исследование колебаний типа ШГ, возбуждаемых в частично экранированном полусферическом диэлектрическом резонаторе (ЭПДР) через щель связи в его плоском зеркале открытым концом волновода или диодным модулем при симметричном и асимметричном расположении диэлектрической полусферы и цилиндрического экрана.

На плоском металлическом зеркале *1* расположены диэлектрическая полусфера *2* из фторопласта радиусом 39 mm и цилиндрический с полукругом в основаниях открытый с торцов экран *3* радиусом 42 mm (вставка к рис. 1). В плоском зеркале находится элемент возбуждения *4* в виде открытого конца сужающегося вдоль широкой стенки прямоугольного волновода или выходного отверстия диодного модуля размерами 7.2×1 mm. Его конструкция включала в себя помимо самого диода Ганна элементы крепления, согласования и подачи питания. В экспериментальном макете имелась возможность плавно изменять взаимное расположение плоскостей симметрии диэлектрической полусферы и экрана. Это вносило асимметрию воздушного зазора между ними.

На рис. 1 приведены зависимости резонансной частоты f и собственной добротности Q_0 ТМ колебаний типа ШГ с одной вариацией поля по радиальной и азимутальной координате, возбуждаемых на частотах, близких к 34.55 GHz, от величины смещения плоскостей симметрии $\delta d/d$ диэлектрической полусферы и экрана. Зависимость собственной добротности колебаний ЭПДР от величины асимметрии представлена кривой *1*, а изменение их резонансной частоты при этом — кривой *2*. Погрешность определения величины Q_0 не превышала 20%.

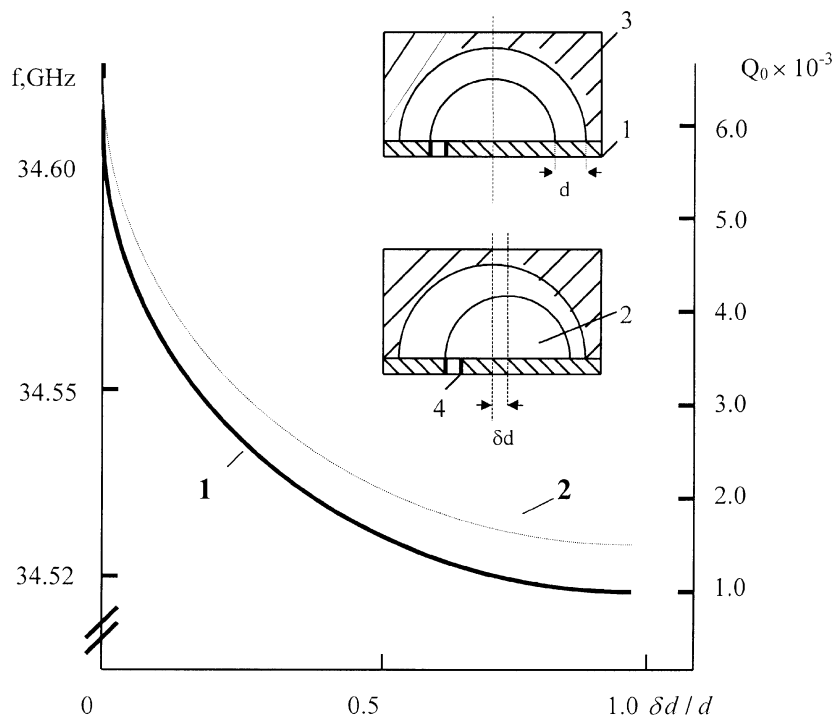


Рис. 1. Зависимости собственной добротности Q_0 (кривая 1) и резонансной частоты f (кривая 2) ТМ колебаний типа ШГ от величины асимметрии $\delta d/d$ воздушного зазора ЭПДР.

Из рис. 1 видно, что наибольшей собственной добротностью обладают колебания типа ШГ, возбуждаемые в ЭПДР при симметричном расположении диэлектрической полусферы и металлического цилиндра. Их добротность ($Q_0 \approx 6 \cdot 10^3$) превосходит собственную добротность колебаний открытого полусферического ДР и превышает добротность, обусловленную потерями энергии в диэлектрике. Величина собственной добротности колебаний подобного открытого ДР на частоте, близкой к приведенной на рис. 1, составляет $4.2 \cdot 10^3$. При увеличении величины

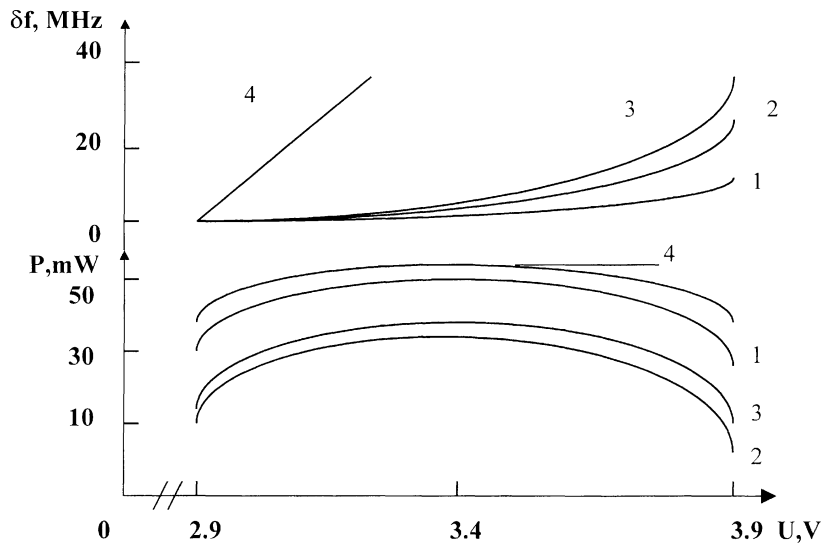


Рис. 2. Зависимости мощности колебаний P и изменения частоты генерации от напряжения U питания диода Ганна.

асимметрии в ЭПДР величина собственной добротности понижается и уже при значении $\delta d/d \approx 0.2$ становится близкой к добротности колебаний открытого резонатора. При дальнейшем увеличении асимметрии в исследуемой резонансной системе добротность колебаний ЭПДР ухудшается и при значении $\delta d/d \approx 1$ понижается до величины 10^3 .

Полученные результаты объясняются влиянием экрана на поле колебаний типа ШГ, возбуждаемых в ДР. Нарушение симметрии в ЭПДР путем изменения положения экрана относительно диэлектрической полусферы позволяет уменьшить резонансную частоту колебаний типа ШГ в интервале 100 МГц (рис. 1).

На рис. 2 приведены зависимости мощности P и изменения частоты δf генерации колебаний в ЭПДР от напряжения питания U диода при симметричном и асимметричном расположении диэлектрического элемента ЭПДР и его металлического экрана. Кривыми 1 показано поведение указанных зависимостей для частично экранированного резонатора с симметричным воздушным зазором, а кривые 2 соответствуют

случаю асимметричного зазора в резонансной системе с $\delta d/d \approx 0.7$. Для сравнения кривыми 3 показаны результаты исследования характеристик генерации колебаний диода Ганна в аналогичном открытом ДР. Представленные результаты соответствуют измерениям, проведенным вблизи резонансной частоты ЭПДР $f \approx 38.6$ GHz. Приведенные результаты были получены при расположении выходного отверстия диодного модуля в максимуме интенсивности поля колебаний экранированного и открытого ДР.

Из рис. 2 видно, что при симметричном воздушном зазоре в ЭПДР наблюдаются максимальная мощность генерации и наименьшая крутизна электронной перестройки частоты $\delta f(U)$. Полученные результаты согласуются с данными измерения добротности колебаний и обусловлены наименьшими потерями энергии колебаний в резонансной системе с симметричными воздушными зазорами по сравнению с открытым ДР и ЭПДР с асимметричным расположением диэлектрической полусферы и металлического цилиндра.

Отметим, что смещение экрана относительно диэлектрической полусферы не приводило к захвату частоты соседними зонами генерации и частота, как и в случае исследования электродинамических характеристик колебаний ЭПДР, плавно понижалась.

Таким образом, в данной работе получены результаты, подтверждающие возможность возбуждения высокодобротных колебаний типа ШГ в симметричном ЭПДР. При наличии асимметрии во взаимном расположении диэлектрического элемента резонансной системы и ее экрана они не исчезают; их частоты при увеличении асимметрии плавно понижаются. При возбуждении колебаний типа ШГ в рассматриваемом резонаторе диодным модулем получены уровни стабильности частоты и мощности выходного сигнала, превышающие аналогичные характеристики генератора с подобным открытым диэлектрическим резонатором.

Список литературы

- [1] Ильченко М.Е., Взятьшев В.Ф., Гассанов Л.Г. и др. Диэлектрические резонаторы / Под ред. М.Е.Ильченко. М.: Радио и связь, 1989. 328 с.
- [2] Коцержинский Б.А., Мачусский Е.А., Першин Н.А., Тараненко В.П. // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1987. Т. 30. № 10. С. 13–23.
- [3] Харьковский С.Н., Филиппов Ю.Ф., Еременко З.Е., Кутузов В.В., Когут А.Е. // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. В. 14. С. 20–25.