

Сапфировый резонатор для мал шумящих автогенераторов СВЧ с профилированной цилиндрической поверхностью

Диэлектрические резонаторы из искусственного сапфира (СДР) [1] находят всё более широкое применение в качестве основы колебательной системы автогенератора сверхвысоких частот (АГ СВЧ) с предельно низким уровнем фазовых шумов выходного сигнала [2].

Низкий уровень фазового шума АГ достигается вследствие исключительно высокой добротности резонатора в виде диска или цилиндра из монокристаллического сапфира, возбуждаемого на высших азимутальных модах (моды типа «шепчущей галереи»).

Проектирование АГ СВЧ данного типа затруднено наличием множества побочных резонансов, способных существенно исказить ожидаемую частотную характеристику колебательной системы при малой отстройке от частоты рабочей моды.

В данной работе для разрежения частотного спектра СДР вблизи выбранной моды предлагается использовать профилирование цилиндрической стенки СДР с учётом азимутального номера данного колебания. Идея предлагаемого метода иллюстрируется картинками распределения интенсивности электрического поля моды EH с азимутальным номером 6 на рис. 1: справа – для сапфирового цилиндра с обычной гладкой стенкой, слева – для профилированного сапфирового цилиндра. Чёрный контур на рис. 1 отмечает физическую границу объекта.

Предполагается получить геометрические параметры резонатора, удовлетворяющие следующим условиям:

1. Мешающие побочные колебания в резонаторе максимально удалены от частоты выбранной моды;
2. Добротность мешающих колебаний существенно снижена по сравнению с добротностью рабочей моды;
3. Размеры сапфирового узла (его диаметр в первую очередь) являются наименьшими из возможного набора вариантов решений, что позволяет минимизировать объём и себестоимость резонатора.

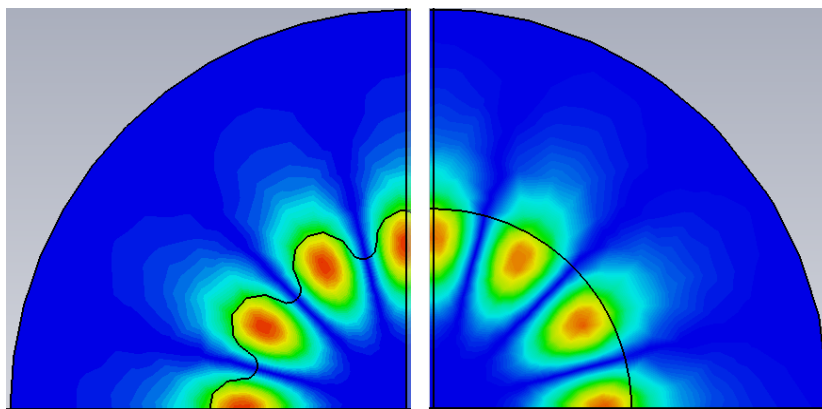


Рисунок 1.

Моделирование СДР проводится в среде CST Microwave Studio [3-4]. Для моделирования составлена модель, представленная на рис.2, которая состоит из следующих частей:

1. Сапфировый резонатор в двух вариантах:
 - а. цилиндр (диск) с гладкой цилиндрической поверхностью;
 - б. цилиндр (диск) с профилированной цилиндрической поверхностью.
 2. Соосный цилиндрический металлический экран.
 3. Торцевые поглотители.
- Среда заполнения резонатора – вакуум.

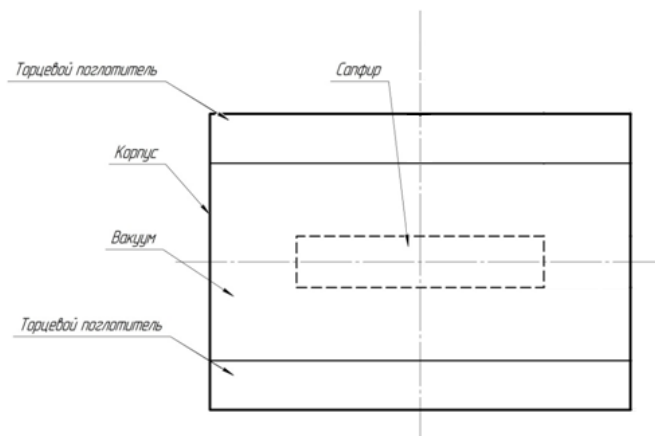


Рисунок 2.

Для максимизации добротности выбранной моды была рассчитана зависимость добротности моды от зазора между сапфировым элементом и стенками экрана. По полученным кривым (см. рис. 3) выбраны значения радиусов корпусов вариантов (а) и (б).

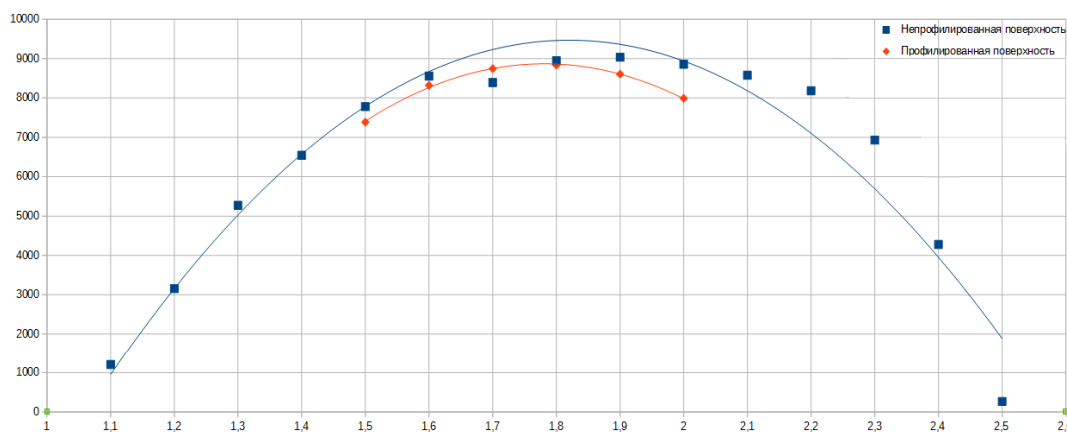


Рисунок 3.

Благоприятные в смысле сформулированного критерия значения формата сапфирового ядра (отношение радиуса гладкого диска к его высоте) выявляются путём анализа массива расчётных данных, получаемых при вариации формата в выбранном интервале.

Рис. 4 иллюстрирует влияние формата диска на резонансные частоты гладкого (слева) и профилированного (справа) сапфирового ядра соответственно для моды HE с азимутальным номером 6 и прилегающих к ней мод.

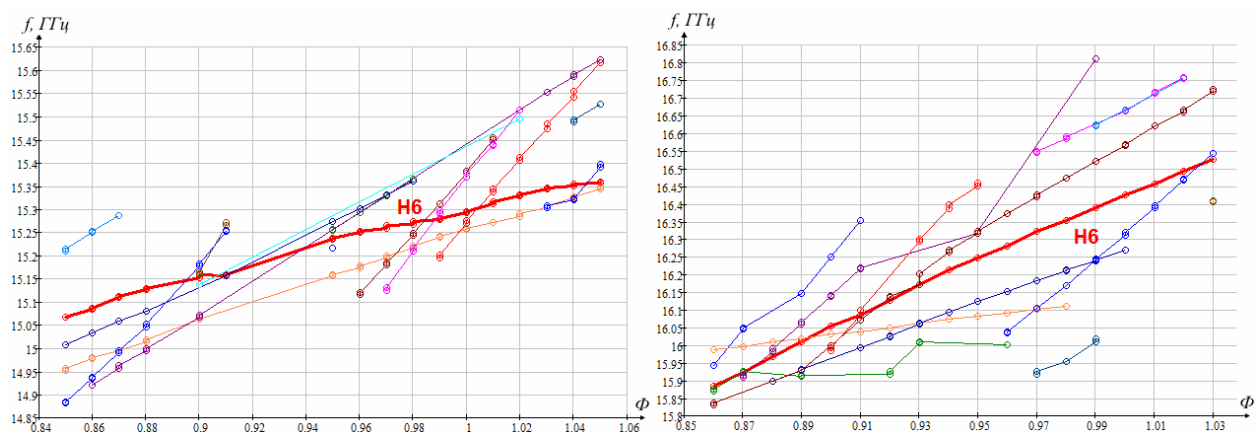


Рисунок 4.

Из рис. 4 видно, что после введения профилирования диска появляется широкая, по сравнению с гладким сапфировым керном, область, где соседние моды наиболее сильно отдаляются по частоте от основной моды. Для резонатора с гладким диском благоприятные значения формата лежат между 0,96 до 0,98, где соседние моды отдаляются на не более чем 50 МГц. Для профилированного диска область форматов стала шире – от 0,95 до 1,00, где соседние моды отстают по частоте на не более чем 150 МГц.

Полученные предварительные результаты соответствуют ожиданиям:

- область форматов стала шире в 2,5 раза;
- отстройка частот соседних мод увеличилась в 3 раза.

Поэтому дальнейшая работа будет направлена на изучение влияния геометрических параметров профилирования на частотные характеристики резонатора.

Библиографический список

1. Царапкин Д. П., Иванов Е. Н., Мухтаров И. Н. Высокодобротные дисковые диэлектрические резонаторы // Радиотехника и электроника. 1983. Т. 28, № 8. С. 1658-1659.
2. Ivanov E. N., Tobar M. E. Low Phase-Noise Sapphire Crystal Microwave Oscillators: Current Status // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, V. 56, No. 2, February 2009. P. 263 – 269.
3. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ-устройств в среде CST Microwave Studio: учебное пособие. – М.: Изд. дом МЭИ, 2012. – 152 С.
4. Курушин А.А. Школа проектирования СВЧ устройств в CST STUDIO SUITE. – М., ООО «Сам Полиграфист», 2014, 433 стр.