

УДК 621.372.413

И.О. Зенив¹, М.А. Старков², В.М. Крылов¹¹Государственный университет телекоммуникаций, Киев²Киевский политехнический университет, Киев

ГЕНЕРАТОР НА ДИОДЕ ГАННА С ЭКРАНИРОВАННЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ

Исследованы возможности применения экранированного диэлектрического резонатора на лейкосапфире. Резонатор на лейкосапфире используется в качестве колебательной системы для СВЧ генератора на диоде Ганна. Генератор выполнен по схеме включения объемного резонатора на проход. Результаты исследований подтверждают перспективу использования гибридных резонаторов в СВЧ-устройствах на их основе. Приведены преимущества использования гибридных резонаторов в генераторах СВЧ.

Ключевые слова: генератор, добротность, колебательная система, лейкосапфир, резонатор.

Вступление

В малогабаритных волноводно-диэлектрических резонаторах (ВДР) с относительно невысокими значениями диэлектрической проницаемости $\epsilon \sim (2 \div 16)$ величина собственной добротности Q_0 определяется потерями как в диэлектрике, так и в металле, и в 3-см диапазоне волн (как показано в [1]) достигает ~ 8000 . Для уменьшения потерь в металле, обусловленных токами, протекающими в стенках, необходимо повысить расстояние между металлом и диэлектриком, т.е. несколько увеличить размеры при условии отсутствия резонансных явлений в изменившемся объеме. Таким образом, высокодобротные ВДР могут быть выполнены на основе лейкосапфирового диэлектрического элемента, помещенного в металлический экран.

Основная часть

Этот тип резонатора может быть представлен в виде отрезка закороченного круглого либо прямоугольного волновода с лейкосапфировым вкладышем цилиндрической либо прямоугольной формы.

Подобное устройство было рассмотрено в [2], где приведены расчеты резонансных частот и величин собственных добротностей для резонатора в виде короткозамкнутого отрезка цилиндрического волновода с коаксиальным диэлектрическим стержнем (рис. 1).

Результаты расчетов для добротности (рис. 2) получены в предположении, что величина ϵ -скалярная. Для лейкосапфира, который является анизотропным диэлектриком, это допущение имеет место для колебаний типа H_{011} в цилиндрическом резонаторе, в случае расположения главной оптической оси кристалла вдоль оси стержня. На рис. 2 приведены расчетные величины зависимости Q_0 от относительного диаметра (относительно к длине волны) для различных значений ϵ .

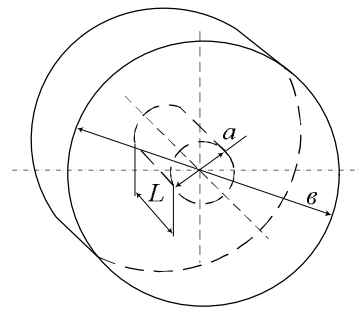


Рис. 1. Цилиндрический резонатор с диэлектрическим стержнем: a – диаметр диэлектрического стержня; b – диаметр цилиндрического волновода; L – длина диэлектрического стержня

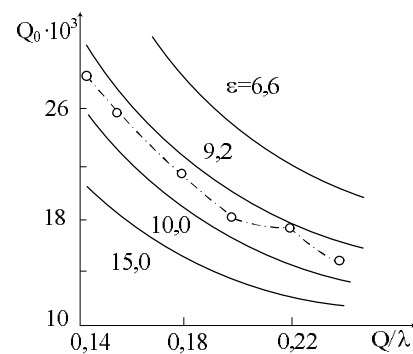


Рис. 2. Характеристики добротности цилиндрического резонатора с диэлектрическим стержнем (– расчетная; -.-.- экспериментальная)

С уменьшением радиуса диэлектрического стержня растет величина Q_0 . При этом для сохранения резонансной частоты следует увеличивать длину цилиндра, одновременно увеличивая ширину экрана.

Получены экспериментальные данные для диэлектрической проницаемости $\epsilon=9,2$ (при совпадении главной оптической оси с осью цилиндра) [2]. Измеренные значения собственной добротности таких резонаторов достигают 26×10^3 . Там же отмечается, что получение таких высоких значений добротности не требует специальной обработки металлического экрана и диэлектрического вкладыша.

На основе разработанных в [3] резонаторах появляется возможность создания простых и технологичных СВЧ устройств, отличающихся уникальным сочетанием добротности с малыми габаритами и весом.

Учитывая то, что сферический резонатор является самым высокодобротным низкомодовым резонатором, из – за максимального отношения объема к поверхности сделана попытка использования такого резонатора в качестве стабилизирующего по частоте в генераторе на диоде Ганна.

С учетом результатов расчета собственных параметров диэлектрического шара в металлическом экране (в предположении, что диэлектрик – изотропный) а также требований, предъявляемых к разреженности спектра, был рассмотрен тип колебаний H_{101} в такой структуре.

Собственная добротность резонатора с учетом потерь в диэлектрике и металлических стенках может быть определена из соотношения потерь: $1/Q_0 = 1/Q_d + 1/Q_m$, где $1/Q_d$ – потери в диэлектрике, $1/Q_m$ – в металле. Расчеты, проведенные в [3], в предположении отсутствия потерь в диэлектрике подтверждают рост Q_0 при увеличении соотношения b/a по сравнению с Q – добротностью полого эквивалентного резонатора, возбужденного на той же частоте и изготовленного из материала с той же удельной проводимостью.

Так, для диэлектрического материала с $\epsilon=10$ отношение добротностей Q_0/Q достигает 5 при $b/a=3$ (рис. 3).

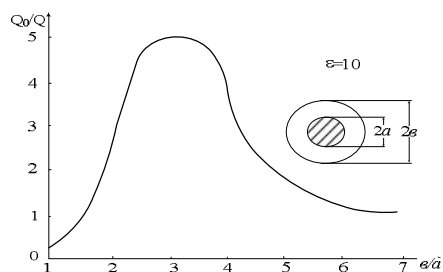


Рис. 3. Зависимость отношения добротностей от относительного размера резонатора

Характерно, что помимо возрастания добротности, существенно улучшаются массо- габаритные характеристики резонатора, так как для рассматриваемого случая диаметр составного резонатора уменьшается в 1,5 раза, а его объем почти в 4 раза.

Из рис. 4 следует, что собственная частота резонатора в интервале значений $b/a=2\div 3$ слабо зависит от величины соотношения b/a и определяется, главным образом, геометрическими размерами диэлектрической сферы. Это обстоятельство с одной стороны снижает требование к точности изготовления металлического экрана, а с другой стороны позволяет уменьшить дестабилизирующее влияние металлических поверхностей, обусловленное тепловым расширени-

ем экрана. Исследуемая колебательная система содержит: диэлектрический резонатор в виде шара из лейкосапфира, диаметр которого изменялся в процессе исследования и медного экрана с внутренним диаметром полости $\varnothing 17,84$ мм. (рис. 5).

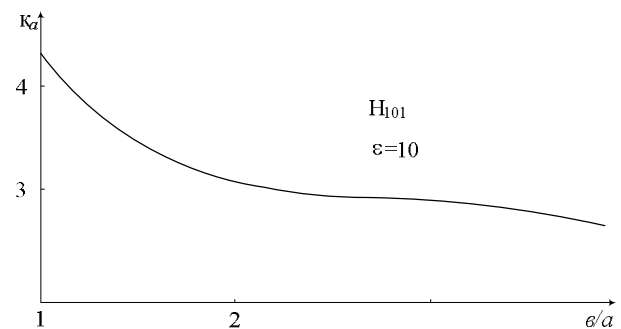


Рис. 4. Зависимость соотношения добротностей от относительных размеров резонатора

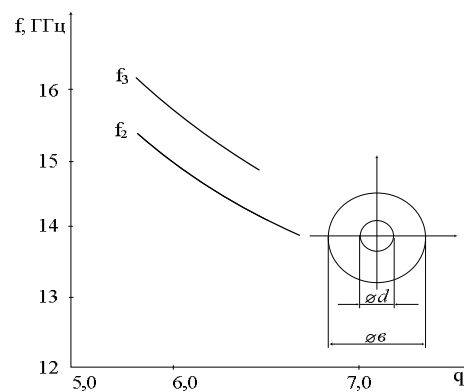


Рис. 5. Зависимость частоты генератора от относительного размера резонатора

Резонансные частоты колебаний составляли $f_1=12,7$ ГГц; $f_2=15,3$ ГГц; $f_3=16,05$ ГГц.

Частота рабочая f_3 соответствовала типу колебаний H_{101} . При малых отверстиях связи в экране (прямоугольных щелях с размерами 3×1 мм), расположенных диаметрально противоположно в стенках внешней сферы, значение нагруженной добротности приближается к собственной и на частоте f_3 равно $Q_0=23000$.

При определенной ориентации сферы по отношению к отверстиям связи возбуждаются колебания на частоте f_2 или f_3 .

На рис. 5 показана зависимость частоты генератора от размеров внутренней сферы при постоянном диаметре внешней сферы – экрана.

При отсутствии диэлектрика в сфере имело место колебание типа E_{010} на частоте $f_m=14,76$ Гц (измеренное значение добротности составляло $Q=5800$). Предполагается, что возбуждение системы на f_2 происходит в случае ориентации главной оптической оси кристалла перпендикулярно плоскости, в которой расположены большие размеры прямоугольных щелей связи (т.е. перпендикулярно плоскости H – на основном магнитно – дипольном типе колебаний H_{101}).

При этой ориентации сфера обладает большими значениями диэлектрических потерь чем, в случае ориентации при возбуждении колебаний на частоте f_3 .

На частоте f_1 ориентация внутренней сферы на добротность не влияет.

Генератор собран по схеме включения объемного резонатора на проход.

Состоит генератор из следующих элементов (рис. 6):

1. сфера - диэлектрическая вставка;
2. металлический экран;
3. диодная камера;
4. активный элемент (диода Ганна);
5. фильтр питания;
6. обойма из пенополистирола;
7. осевые держатели.

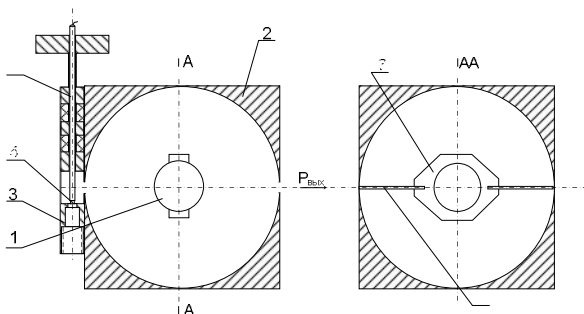


Рис. 6. Генератор СВЧ на диоде Ганна

Генератор при частоте $f_3=16,05$ ГГц обеспечивает выходную мощность $P=10$ мВт (тот же диод в генераторе на прямоугольном волноводе имеет выходную мощность на этой же частоте ~ 80 мВт).

Распределение фазовых шумов генератора в зависимости от частоты отстройки от несущей приведены в табл. 1.

Для сравнения полученных данных по частотным шумам приведены величины, которые получены на том же диоде в генераторе, стабилизированном качественным объемным цилиндрическим резонатором на типе колебаний H_{011} на той же частоте.

ГЕНЕРАТОР НА ДІОДІ ГАННА З ЕКРАНОВАНИМ ДІЕЛЕКТРИЧНИМ РЕЗОНАТОРОМ

І.О. Зенів, М.А. Старков, В.М. Крылов

Досліджені можливості використання екранованого діелектричного резонатора на лейкосапфіре. Резонатор на лейкосапфіре використовується як коливальна система для СВЧ генератора на діоді Ганна. Генератор виконаний за схемою включення об'ємного резонатора на проход. Результати досліджень підтверджують перспективу використання гібридних резонаторів в СВЧ-пристроях на їх основі. Приведені переваги використання гібридних резонаторів в генераторах СВЧ.

Ключові слова: генератор, добротність, коливальна система, лейкосапфір, резонатор.

GUNN OSCILLATOR WITH SHIELDED DIELECTRIC RESONATOR

I.O. Zeniv, M.A. Starkov, V.M. Krylov

The possibilities of the use of shielded dielectric leucosapphire resonator are investigated. Resonator with leucosapphire used as an oscillatory system for microwave Gunn oscillator. The generator is made under the scheme incorporating the cavity for passage. The results of investigation confirm the prospect of using hybrid resonators in microwave devices based on them. The advantages of using hybrid resonators in the microwave generators are showed.

Keywords: generator, Q-factor, oscillating system, leucosapphire, resonator.

Таблица 1

Распределение фазовых шумов генератора

Частотные шумы, дБ/Гц	Частота отстройки от несущей, кГц			
	1	3	5	10
Генератор с резонатором частично заполнен диэлектриком	-78	-92	-98	-103
Генератор на цилиндрическом резонаторе (H_{011})	-71	-87	-90	-98

Выводы

Как следует из результатов исследования, при использовании гибридных металло-диэлектрических резонаторов помимо возрастания добротности существенно улучшаются массогабаритные характеристики резонатора. Так для рассматриваемого случая радиус составного резонатора уменьшается в 1,5 раза, а его объем почти в 4 раза. Собственная частота резонатора в интервале значений $v/a=2\div 3$ слабо зависит от величины этого параметра и определяется, главным образом, геометрическими размерами диэлектрической сферы. Это обстоятельство с одной стороны снижает требования к точности изготовления металлического экрана, а с другой – позволяет уменьшить дестабилизирующее влияние металлических поверхностей, обусловленное тепловым расширением экрана. Все это делает гибридные (составные) металло-диэлектрические резонаторы перспективными для применения в СВЧ-устройствах на их основе.

Список литературы

1. Коробкин В.А., Дваненко В.Я., Великоцкий В.Н. Электронная техника сер. Электроника СВЧ 1982 вып. 8 (344), с. 26.
2. Коробкин В.А., Дваненко В.Я., Великоцкий В.Н. Радиотехника и электроника т XXXI вып. 6, 1986, с.1236-1238.
3. Старков М.А., Вестник, Киевского политехнического института. Радиотехника, 1982, вып.19, с.54-56.

Поступила в редколлегию 19.11.2014

Рецензент: д-р ф.-м. наук., проф. В.О. Зуев, Государственный университет телекоммуникаций, Киев.