

Генератор СВЧ на кольцевом эллиптическом резонаторе в объемном интегральном исполнении

Т.О. Каткова, Э.Ю. Седышев

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Аннотация: в работе предлагается конструкция кольцевого эллиптического резонатора на симметричной полосковой линии, рассчитаны геометрические размеры устройства, проведено компьютерное моделирование устройства в программе RFSimm99. Созданные макеты генераторов на полосковой линии и симметричной полосковой линии исследованы экспериментально, проведен анализ результатов.

Ключевые слова: СВЧ генератор, активный двухполосник, резонатор, спектрограмма

1. Введение

Генераторы являются основой многих микроволновых систем. Они могут быть разными по схемам, конфигурации и иметь разное конструктивное исполнение. Сегодня активно исследуются генераторы на резонаторах бегущей волны, предложенные в нашем Университете. В этих генераторах используются кольцевые эллиптические резонаторы, использующие различные активные элементы (транзисторы, туннельные диоды, диоды Ганна, лавинно-пролётные диоды и др.) [1, 2].

2. Компьютерное моделирование и экспериментальные результаты

На рисунке 1 представлена 3D - модель кольцевого эллиптического резонатора, а на рисунке 2 представлена 3D - модель генератора на кольцевом эллиптическом резонаторе.

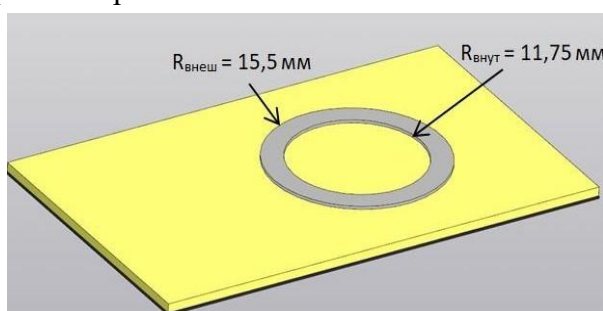


Рисунок 1. Модель кольцевого резонатора

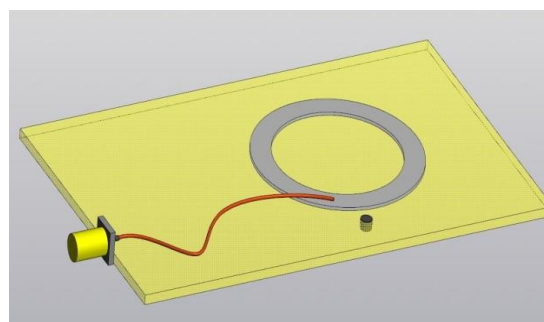


Рисунок 2. Модель СВЧ генератора в микрополосковом исполнении

Для исследования предлагаемого генератора, 3D модель которого была построена в учебной версии Компас 3D и представлена на рисунке 2, проследим зависимость его выходных характеристик от параметров конструкции. Задающее кольцо возьмем из работы [1], изменив выходную линию и точку ее включения в кольцо.

Первым этапом рассчитаем резонансные частоты выбранного кольца (рисунок 1). Расчет проведем по формулам (1) - (3), которые учитывают погонные параметры устройства, а также по формулам, которые учитывают кратность длины кольцевого резонатора длине волны в нем (учитывающие резонансную частоту с точки зрения геометрической оптики) [1].

Найдём резонансную частоту с учётом погонных параметров:

$$f_{\text{рез1}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = 3,14 \text{ ГГц} \quad (1)$$

где:

L – погонная индуктивность резонатора.

C – погонная ёмкость резонатора.

Для расчёта частоты резонанса с точки зрения геометрической оптики необходимо найти длину волны по формуле (2):

$$\lambda = \frac{l_{\text{ср}}}{n} = 0,0855 \text{ м} \quad (2)$$

где:

$l_{\text{ср}}$ – длина резонансного кольца.

n – количество бегущих волн, укладываемых в данном кольце.

Тогда частота резонанса находится по формуле (3):

$$f_{\text{рез2}} = \frac{c}{\lambda \cdot \sqrt{\epsilon}} = 2,588 \text{ ГГц}, \quad (3)$$



Рисунок 3. Макет СВЧ генератора в микрополосковом исполнении

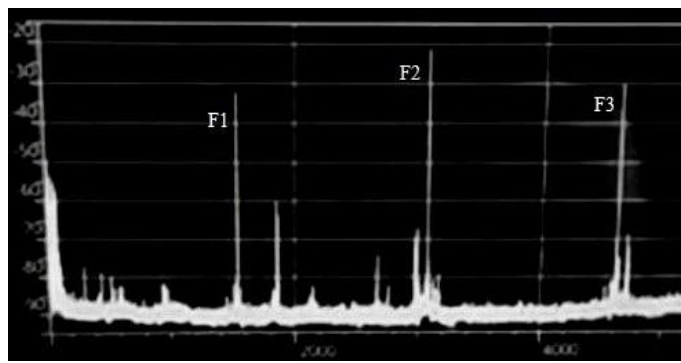


Рисунок 4. Спектрограмма СВЧ генератора

Изготовив макет, представленный на рисунке 3, были проведены серии экспериментов, в итоге получена спектрограмма, представленная на рисунке 4. На ней видны три основных частоты генерации: $F1 \approx 1.500$ ГГц, $F2 \approx 3.100$ ГГц, $F3 \approx 4.600$ ГГц.

Частота резонанса, рассчитанная по формуле (1), учитывающей эквивалентные параметры кольца, совпадает с самой большой (- 22 дБм) частотой генерации нашего макета.

Макет генератора включает в себя активный двухполюсник (туннельный диод), отрицательное дифференциальное сопротивление которого компенсирует потери в кольце и собственно обеспечивает генерацию [3]. Особую сложность представляет построение эквивалентной схемы устройства. Предлагаемая схема показана на рисунке 5. Сумма длин линий равна длине кольца из формулы (2). При моделировании в программе RFSimm99 диод заменяется резистором с отрицательным сопротивлением.

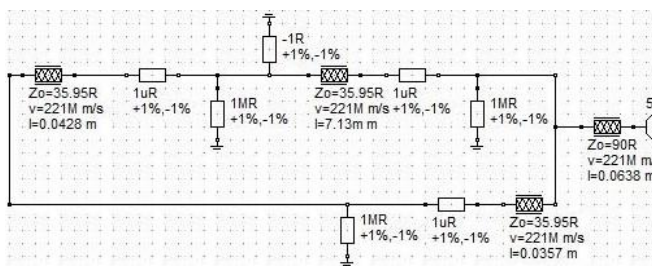


Рисунок 5. Эквивалентная схема СВЧ генератора

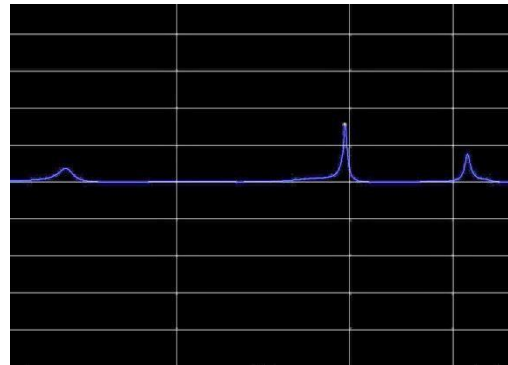


Рисунок 6. Расчетный S11 генератора с одним диодом

Компьютерное моделирование показывает, что предложенная эквивалентная схема работоспособна и имеет три основных частоты генерации (рисунок 6).

Созданный макет в объёмном интегральном исполнении генерирует мощность порядка десятков микроватт. Общий вид макета и спектрограмма представлены на рисунке 7 и 8.

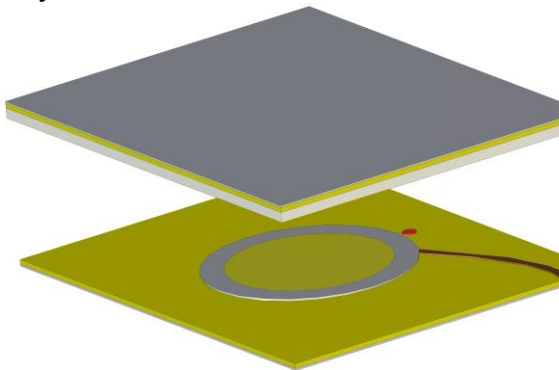


Рисунок 7. 3D - модель СВЧ генератора в объёмном интегральном исполнении

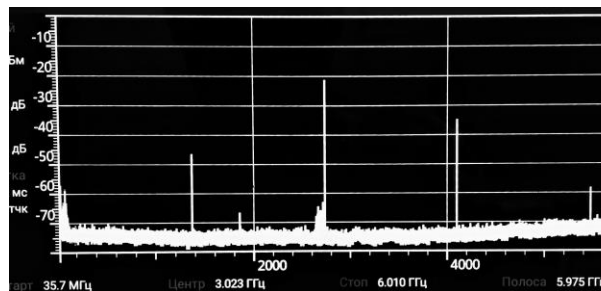


Рисунок 8. Спектрограмма СВЧ генератора в объёмном интегральном исполнении

Сравнивая макеты генераторов на микрополосковой и симметричной полосковой линиях можно сделать вывод, что добротность кольца очень сильно зависит от типа линии.

3. Заключение

Итогом работы можно считать создание принципиально нового конструктива генератора СВЧ на резонаторе бегущей волны. Все созданные макеты генераторов генерируют высокостабильные СВЧ колебания. Стабильность колебаний генераторов очень высока, спектрограммы колебаний чистые. Также отметим, что уровень генерации по сравнению с устройством из работы [1] для данной конструкции во много раз больше.

Основным недостатком работы является отсутствие точной эквивалентной схемы, именно этим объясняется расхождение в расчетных и экспериментальных значениях частот генерации. Это связано с тем, что в эквиваленте использована приближенная модель активного элемента.

Список литературы

1. Сазоненко Н.Ю., Седышев Э.Ю. Генератор на кольцевом резонаторе в микрополосковом исполнении. СПб.: IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция АПИНО 2020. Научное направление теоретические основы радиоэлектроники и систем связи, подсекция микроволновая техника: материалы, элементы, устройства. С. 509-513.
2. Янчук Е. В. Туннельные диоды в приемно-усилительных устройствах. М: Энергия, 1967. 56 с.
3. Седышев Э.Ю., Шомин А.Ю. Исследование возможности одновременного использования нескольких активных двухполюсников при создании СВЧ генераторов. СПб – IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция АПИНО 2020. Научное направление теоретические основы радиоэлектроники и систем связи, подсекция микроволновая техника: материалы, элементы, устройства. С. 514-519.