

Влияние конструктивных параметров объемных резонаторов на АЧХ фильтра

А.А. Тюменцева^{1,2}, Ю.И. Егошин^{1,2}, Т.С. Тимошенко¹

¹АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

²Омский государственный технический университет

Аннотация: В работе показано влияние отклонения конструктивных параметров объемных резонаторов, выполненных по SIW технологии на их частотные характеристики. Выполнен расчет чувствительности характеристик такого резонатора к изменению его габаритных размеров.

Ключевые слова: СВЧ-фильтр, емкостно-нагруженный объемный резонатор, чувствительность, LTCC, SIW, ЕНОР

1. Введение

В малогабаритной аппаратуре связи для частотной селекции сигнала в СВЧ диапазоне широкое применение находят миниатюрные фильтры, выполненные на основе ПАВ и ОАВ резонаторов, микрополосковые фильтры. Еще одним типом фильтров, подходящим для миниатюризации, могут быть фильтры на основе объемных резонаторов, выполненных по SIW-технологии. Вопросам конструирования таких резонаторов и фильтров на их основе, уделено достаточно много внимания в литературе [1–3]. Однако, ряд вопросов практического применения объемных резонаторов исследованы еще не до конца. Одним из них является оценка влияния отклонения конструктивных параметров резонатора на их частотные характеристики.

В данной работе рассмотрено влияние отклонения конструктивных параметров ОР на их частотные характеристики.

2. Основные теоретические соотношения

К параметрам СВЧ резонаторов, выполненных в объемных структурах, предъявляются достаточно жесткие требования, поскольку от качества резонаторов в дальнейшем зависят параметры фильтров. Одними из основных требований является точность установки частоты и обеспечение высокой добротности (не менее 150-170 ед.), что в дальнейшем позволит минимизировать уровень вносимых потерь в полосе пропускания фильтра.

На рисунке 1 приведена структура SIW резонатора с его конструктивными параметрами.

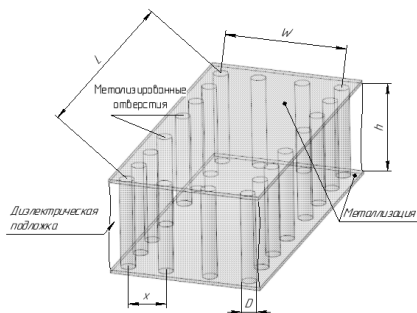


Рисунок 1. Структура объемного резонатора

Как было показано в работе [4] на частотные характеристики SIW-резонаторов,

выполненных по LTCC-технологии, оказывают влияние такие факторы, как отклонение диэлектрической проницаемости применяемого материала, разнотолщинность материала, неравномерное спекание, изменение давления при изготовлении, вследствие чего происходит отклонение усадки от заданной. Приведенные выше отклонения в свою очередь также влияют на конструктивные параметры резонаторов: ширину стороны резонатора, длину резонатора.

Оценку влияния отклонения конструктивных параметров SIW-резонаторов на их частотные характеристики можно произвести, применяя теорию чувствительности [5], где относительная чувствительность определяется, как относительное отклонение параметра Y к относительному отклонению параметра X [6]:

$$S_x^y = \frac{x}{y} \cdot \frac{\partial y}{\partial x}, \quad (1)$$

Исходя из выражения (1) определим чувствительность резонансной частоты резонатора к отклонению параметров SIW-резонатора и применяемых материалов: диэлектрической проницаемости материала (ϵ), длины (L), ширины (W), высоты резонатора (H).

Резонансную частоту объемного резонатора и добротность можно записать в виде выражений (2) и (3) соответственно [5, 6]:

$$f_0 = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon}} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{W}\right)^2 + \left(\frac{1}{L}\right)^2}, \quad (2)$$

где c – скорость света (м/с), ϵ – диэлектрическая проницаемость материала, W – ширина резонатора (мм), L – длина резонатора (мм)

Добротность такого резонатора определяется по формуле [7]:

$$Q_0 = \left(\frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_d}\right)^{-1} \quad (3)$$

где Q_m – добротность, определяемая потерями в металле, Q_d – добротность, определяемая в диэлектрике

3. Результаты расчетов

Для оценки влияния конструктивных параметров на частоту объемных резонаторов определим чувствительность частоты к отклонению конструктивных параметров. В качестве примера выберем объемный резонатор, выполненный по SIW-технологии, габаритные размеры которого составляют 3,5х2,5х1,5 мм, реализованный в 18 слоев керамики СКМ ($\epsilon=7,2$), толщиной 100 мкм. Конструктивные параметры резонатора при изменении каждого из них на $\pm 5\%$ представлены в таблице 1. Центральная частота объемного резонатора с такими размерами по расчётным данным составляет 28,4 ГГц.

Далее, применяя формулы (1-3), был проведен расчет чувствительности добротности Q и частоты f_0 резонатора к отклонению его конструктивных параметров. Полученные результаты приведены в таблице 1 и 2 соответственно:

Таблица 1. Чувствительность частоты резонатора к изменению его параметров

Чувствительность	Результат
S_ϵ^f	-0.5
S_W^f	-0.67
S_L^f	-0.33

Таблица 2. Чувствительность добротности к изменению его параметров

Чувствительность	Результат
S_L^Q	0.73
S_H^Q	0.47
S_W^Q	1.8
S_ε^Q	1.5

Для проверки полученных результатов было проведено электромагнитное моделирование ОР, изображенного на рисунке 1. На рисунках 2 – 4 приведены частотные зависимости рассматриваемых резонаторов при отклонении некоторых конструктивных параметров на $\pm 5\%$.

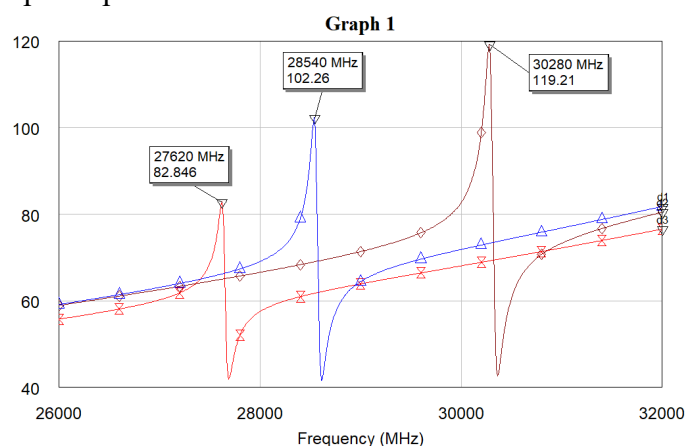


Рисунок 2. График входного сопротивления резонатора при различных значениях ширины резонатора (W)

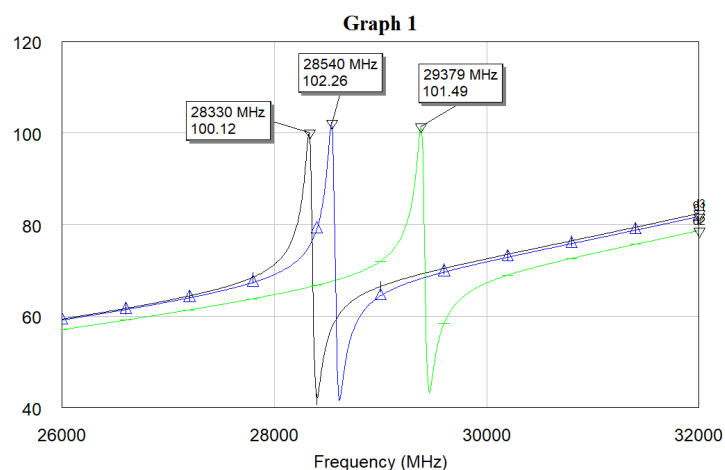


Рисунок 3. График входного сопротивления резонатора при изменении длины резонатора (L)

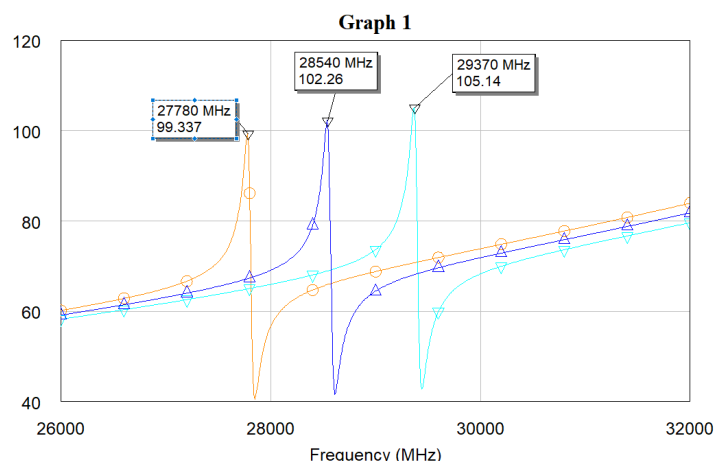


Рисунок 4. График входного сопротивления резонатора добротности при изменении диэлектрической проницаемости материала (ϵ)

Как следует из анализа представленных графиков, на частотные характеристики SIW-резонаторов наиболее сильное влияние оказывает отклонение ширины (W), что соответствует полученным расчетным значениям.

4. Заключение

В работе показана зависимость частотных характеристик SIW-резонаторов от отклонения его конструктивных параметров. Анализ зависимости был проведен путем оценки чувствительности резонансной частоты и добротности резонатора к изменению таких параметров резонатора, как диэлектрическая проницаемость материала (ϵ), длина (L), ширина (W), высота резонатора (H). Установлено, что наибольшее влияние на частотные характеристики резонатора оказывает отклонение длины резонатора (L). Результаты расчета чувствительности резонансной частоты и добротности резонатора к изменению его конструктивных параметров показали высокую степень соответствия с результатами моделирования, что говорит о корректности полученных результатов, а предложенная методика оценки может быть применена при конструировании фильтров на основе ОР.

Список литературы

1. Тургалиев В. М. Емкостно-нагруженные резонаторы и фильтры СВЧ на их основе: Дис. кан. тех. наук – С.- П. – 2015. – 118 с.
2. Вендик И.Б. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига [текст] / И.Б. Вендик, Д.В. Холодняк, А. В. Симин // Компоненты и технологии. - 2005, Вып. 5. – С. 190 – 196.
3. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига. Часть 2. Средства проектирования и реализация пассивных устройств. // А. Симин, Д. Холодняк, И. Вендик. Компоненты и технологии №6 '2005.
4. Тимошенко Т. С. Влияние конструкции укорачивающих конденсаторов на параметры фильтров на объемных резонаторах [Электронный ресурс] / Т. С. Тимошенко, А. А. Тюменцева // Радиотехника, электроника и связь : тезисы докладов VII Международной научно-технической конференции (4–6 октября 2023 года, Омск). - 2023. - С. 313-315.
5. Современная теория фильтров и их проектирование. Под ред. Темеша Г., Митра С. Пер. с англ. - М, 1977. - 560 с.
6. Оценка влияния отклонения конструктивных параметров интегральных LC-фильтров на их частотные характеристики [Текст ; Электронный ресурс] / Ю. И. Егошин [и др.] // Техника радиосвязи. - 2025. - № 1 (64). - С. 64-71.
7. Pozar, D.M., Microwave Engineering, 3-rd edition / D.M.Pozar // New York, Wiley. – 2005. – 472 p