

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ТРУДЫ
XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
СТУДЕНЧЕСКИХ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
ИНКУБАТОРОВ**

Томск, 17–18 мая 2016 г.

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

Исследование влияния температуры на характеристики измерительного прямоугольного резонатора

Е.О. Жандаров

Научный консультант – канд. физ.-мат. наук **О.А. Доценко**,
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия

zhandarov96@mail.ru, apr_tsu_2006@mail.ru

СВЧ диапазон электромагнитного излучения соответствует длинам волн от 30 см до 1 мм. Приборы и устройства, работающие в данном диапазоне, применяются в радиолокации, системах связи, научных исследованиях, бытовых и промышленных микроволновых печах. Все СВЧ приборы могут эксплуатироваться при абсолютно разных внешних условиях, в том числе при разных температурах. При разработке СВЧ аппаратуры необходимо знать электромагнитные характеристики радиоматериалов, применяемых для ее изготовления, а также характер их изменения с температурой. Для этого необходимо проводить измерения спектров магнитной и диэлектрической проницаемости с помощью разных измерительных ячеек, одной из которых является прямоугольный многомодовый резонатор. При изменении температуры собственные характеристики измерительной ячейки могут изменяться.

Основная часть

Для проверки влияния температуры на характеристики измерительной ячейки мы взяли медный прямоугольный резонатор, который был изготовлен на основе прямоугольного волновода. В нем возбуждаются колебания H_{mnp} , где m, n, p – число вариаций электромагнитного поля по осям Ox, Oy, Oz соответственно. Основным типом колебаний, возбуждаемых в таком резонаторе, являются колебания H_{10p} .

Резонатор представляет собой энергетически изолированный объём, в котором свободные электромагнитные поля существуют только при определённых частотах. Спектр колебаний является эквидистантным. Известно, что формула для определения резонансных частот прямоугольного резонатора имеет вид [2]:

$$f = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 + \left(\frac{p}{l}\right)^2}, \quad (1)$$

где c – скорость света, μ и ϵ – комплексные константы, m , n и p – индексы, определяющие вид электромагнитной волны, a , b и l – ширина, высота и длина резонатора соответственно.

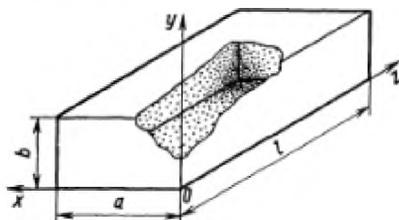


Рис. 1. Прямоугольный резонатор [1]

Из формулы (1) видно, что при изменении температуры изменяются только ширина, высота и длина резонатора, так как в пустом резонаторе c , μ , ϵ , m , n и p являются неизменными величинами. Геометрические размеры могут меняться в случае изменения температуры либо механической деформации. В эксперименте происходит только температурная деформация.

Известно, что изменение линейных размеров материалов от температуры описывается формулой [3]:

$$l_1 = \alpha_1 l_0 (T_1 - T_0) + l_0, \quad (2)$$

где α_1 – тепловой коэффициент линейного расширения, l_0 – начальный размер, T_1 и T_0 – конечная и начальная температуры соответственно.

Для меди тепловой коэффициент линейного расширения равен $16,6 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Подставив (2) в (1), можно рассчитать уход частоты резонатора при изменении температуры.

Установка для температурных измерений представляла собой камеру тепла и холода Testa, внутрь которой помещался резонатор. К векторному анализатору цепей Agilent E8363B он подключался с помощью коаксиального кабеля.

Методика проведения измерений следующая. Медный резонатор помещаем в камеру Testa при комнатной температуре 24°C . Сначала охлаждаем камеру до -30°C , делая замеры через каждые 10° , выдержи-

вая 5 мин при установившейся температуре. Затем начинаем нагревать камеру до $+50^{\circ}\text{C}$ с шагом 10° . На рис. 2, 3 представлены результаты измерений.

На рис. 2 показаны области минимума амплитудо-частотной характеристики резонатора для частоты 7,033 ГГц, измеренные при разных температурах. Можно заметить, что при изменении температуры происходит как уход по частоте, так и изменение значения величины минимума.

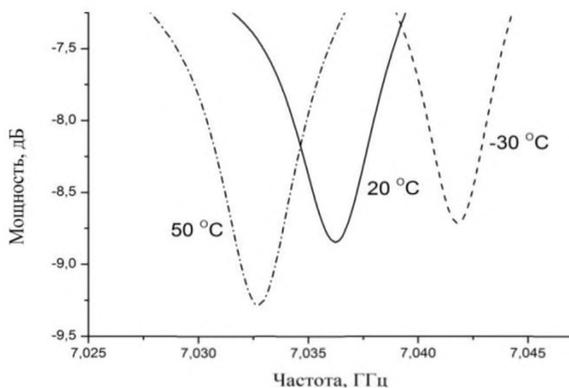


Рис. 2. АЧХ прямоугольного резонатора при разных температурах

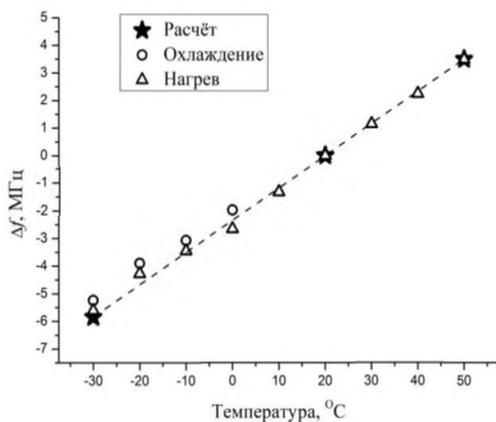


Рис. 3. Зависимость ухода частоты от температуры

На рис. 3 представлена зависимость ухода резонансной частоты от температуры. Круглые и квадратные точки соответствуют измеренным, а звездочки – рассчитанным значениям по формуле (1) с учетом (2). За точку отсчёта мы взяли +20°C. Видно, что при –30°C частота ушла примерно на 5,5 МГц, а при +50°C – на 3,5 МГц относительно первоначального положения.

Также из данных, представленных на рис. 3, видно, что при нагревании и охлаждении значения ухода частоты отличаются. Это отличие составляет от 3 до 5 кГц, что при измерении в гигагерцовом диапазоне частот является погрешностью измерения. Данный разброс в значениях можно минимизировать, выдерживая резонатор при установившейся температуре большее время, которое необходимо в дальнейшем определить. Так как экспериментально показано, что уход частоты происходит по линейному закону, был рассчитан температурный коэффициент ухода частоты по формуле

$$\alpha_f = \frac{f_2 - f_1}{f_1(T_2 - T_1)}$$

для экспериментальных и расчетных значений резонансных частот. Так как раньше было показано, что на уход частоты оказывает влияние изменение геометрии, считаем, что этот коэффициент будет и температурным коэффициентом линейного расширения. Температурный коэффициент линейного расширения, полученный из эксперимента при +50°C составил $k = 16,0688 \cdot 10^{-6} \text{°C}^{-1}$, при –30°C – $k = 15,8374 \cdot 10^{-6} \text{°C}^{-1}$, что соответствует справочным данным [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Резонатор на основе прямоугольного волновода* [Электронный ресурс] : курсовая работа // Veni Vidi Vici : российский информационно-образовательный портал. – 2012. – URL: <http://www.vevivi.ru/best/Rezonator-na-osnove-ryamougolnogo-volnovoda-ref130412.html> (дата обращения: 07. 05. 2016).
2. *Никольский В.В., Никольская Т.И.* Электродинамика и распространение радиоволн. – М. : Наука, 1989. – 544 с.
3. *Назаров А.С., Никулин Н.В.* Радиоматериалы и радиокомпоненты. – М. : Высш. школа, 1986. – 208 с.
4. Температурный коэффициент линейного расширения [Электронный ресурс] : таблица // Temperatures.ru : информационный портал. – 2007–2016. – URL: http://temperatures.ru/pages/temperaturnyi_koefficient_lineinogo_rasshireniya (дата обращения: 07. 05. 2016).