

**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

Установка для исследования влияния температуры на электромагнитные свойства радиоматериалов

Д.В. Аксентьев

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

aksentev_dima.ru@mail.ru, apr_tsu_2006@mail.ru

В настоящее время наряду с интенсивным развитием высоких технологий широкое применение в радиоэлектронике находит аппаратура, использующая электромагнитные волны СВЧ диапазона. Во время ее эксплуатации присутствуют как внешние, так и внутренние тепловые воздействия на узлы и детали радиоаппаратуры. Поэтому перед использованием необходимо проводить температурные испытания материалов, используемых при её конструировании. При эксплуатации узлы и детали аппаратуры подвергаются деформациям за счет линейного расширения сопрягаемых материалов, что может привести к отказу в работе. Известно, что нагрев полимерных изоляционных материалов резко снижает их электрическую прочность и сроки службы [1]. Поэтому необходимо проводить их испытания, чтобы учесть эти изменения.

Для измерения электромагнитных характеристик материалов используют разные измерительные ячейки. При воздействии температуры на измерительную ячейку за счет теплового линейного расширения происходит изменение ее первоначальных параметров. Поэтому, прежде чем измерять характеристики радиоматериалов, необходимо провести испытания самой измерительной ячейки. В данной работе было изучено влияние температуры окружающей среды на резонансные свойства прямоугольного резонатора.

Экспериментальная установка

Прямоугольный резонатор представляет собой полую металлическую замкнутую область [2]. При его нагревании / охлаждении происходит деформация стенок за счет увеличения / уменьшения линейных размеров. Это, в свою очередь, приводит к изменению параметров измерительной

ячейки. Для испытаний был выбран резонатор с линейными размерами $23 \times 10 \times 250 \text{ мм}^3$.

Изменения температуры окружающей среды производились с помощью камеры тепла–холода «ТНС-80» [3]. Камера предназначена для испытаний изделий электронной техники, материалов, машин, приборов и других технических изделий на стойкость (устойчивость и прочность) к воздействию повышенной (пониженной) температуры при эксплуатации. Диапазон температур $-40 \dots +150^\circ\text{C}$, стабильность поддержания температуры $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

На рис. 1 приведена блок-схема экспериментальной установки: цифрой 1 обозначен векторный анализатор цепей Agilent E8363B, цифрой 2 – камера тепла–холода «ТНС-80», в рабочем пространстве которой размещен прямоугольный резонатор, соединенный с помощью гибкого кабеля с Agilent E8363B. Соединение коаксиального кабеля и прямоугольного волновода также находится внутри камеры.

К климатическому интервалу относят температуры $-30 \dots +50^\circ\text{C}$ [1], поэтому испытания были проведены именно в этом интервале.

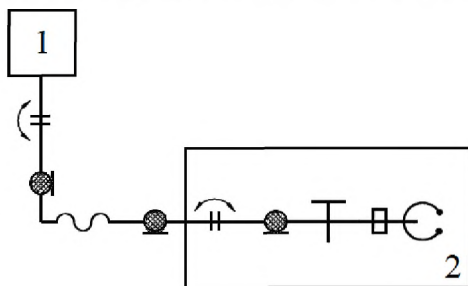


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Методика измерений

Нагревание и охлаждение прямоугольного резонатора производилось с помощью камеры тепла–холода, для точности измерений опыт был проведен два раза (при нагреве и охлаждении).

Запись амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) измерительной ячейки проводилась через каждые 10° . После достижения нужной температуры для установления термодинамического равновесия системы «резонатор–камера» выдерживалось время 10 мин, после чего записы-

валась АЧХ. Затем температура снова изменялась на 10° , и измерения повторялись согласно описанному выше алгоритму. Заметим, что при измерениях использовалась мода колебаний резонатора с частотой 8,31 ГГц при 20°C .

Результаты и обсуждение

На рис. 2 и 3 приведены результаты измерения параметров резонатора при нагреве (треугольные точки) и охлаждении (закрашенные квадратные точки).

Для анализа полученных экспериментальных результатов был проведен теоретический расчет по формуле [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 тип электромагнитной волны; a , b и l – ширина, высота и длина резонатора соответственно. При изменении температуры линейные размеры резонатора a , b и l изменяются в соответствии с выражением [1]

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

где α_l – тепловой коэффициент линейного расширения, l_0 – начальный размер, T_1 и T_0 – конечная и начальная температуры соответственно. Подставляя (2) в (1), можно вычислить уход частоты при изменении температуры. На рис. 2 пустыми квадратными точками обозначен теоретический расчет.

На основе графиков (рис. 2) можно сделать вывод, что при изменении температуры всей системы в интервале $-30 \dots +50^\circ\text{C}$ частота линейно изменяется примерно на 10 МГц. Также видно, что при нагреве / охлаждении есть небольшой разброс в значениях ухода частоты, вызванный инерционностью изменения температуры резонатора.

На рис. 3 представлены результаты расчета относительной погрешности измерения ухода частоты резонатора от температуры.

Из рис. 3 видно, что относительная погрешность изменения частоты не превышает 0,1%. Эту величину необходимо принимать во внимание, если исследуемый экспериментальный образец дает такие же сдвиги резонансных частот, как и изменение температуры. В случае если образец

дает намного большие изменения частоты, чем температура, изменение характеристик резонатора можно не учитывать.

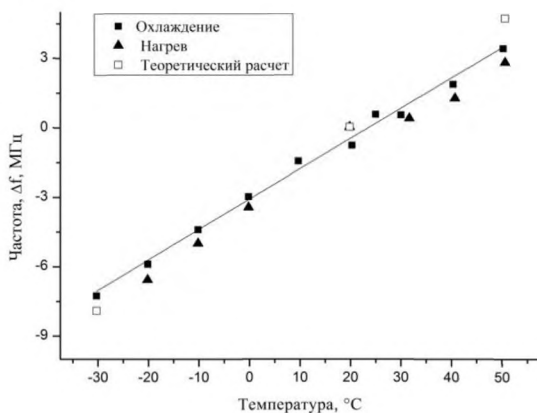


Рис. 2. Зависимость ухода частоты от температуры

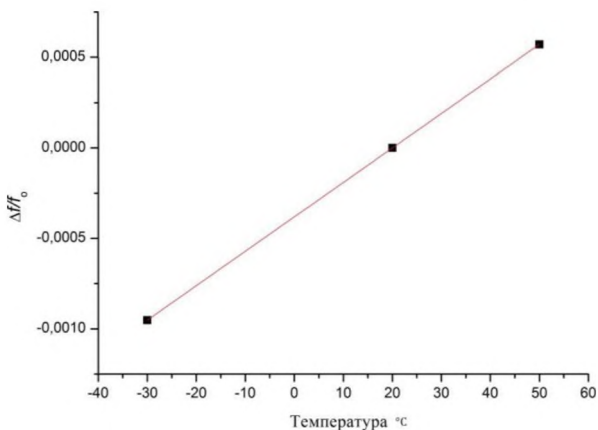


Рис. 3. Зависимость относительной погрешности ухода частоты от температуры

Таким образом, в ходе работы проведено исследование влияния температуры окружающей среды на резонансную частоту прямоугольного волновода. Показано, что при изменении температуры происходит уход резонансной частоты. Данное изменение характеристик резонатора необходимо учитывать при исследовании материалов, которые дают ма-

лый уход частоты резонатора. При экспериментальных измерениях для уменьшения разброса в значениях ухода частоты необходимо увеличивать время установления термодинамического равновесия системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Надежность* технических систем и техногенный риск : электронное учебное пособие. – URL: <http://www.obzh.ru/nad/3-3.html> (дата обращения 29.04.2016).
2. *Никольский В.В., Никольская Т.И.* Электродинамика и распространение радиоволн. – М. : Наука, 1989. – 544 с.
3. *Камера* тепла-холода ТНС-80 : руководство по эксплуатации. – М. : TESTA, 2015. – 26 с.