

## **ЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЭКРАНОВ ПЕЧАТНЫХ ELC ЯЧЕЕК В X-ДИАПАЗОНЕ**

ЯСС КХУДЖЕИР САЛАЛ АЛЬ-ХАСНАВИ, Ю.Ю. БОБКОВ

Исследованы свойства экрана из печатных ELC резонаторов при падении на них плоских волн различной поляризации и при падении плоских волн под различными углами. Элементарная ячейка представляет собой резонатора напечатанные на различных сторонах диэлектрической подложки FR-4 ( $\epsilon=4,3$   $\text{tg } \delta=0,025$ ) толщиной 0,7 мм. Ячейка состоит из ELC- резонатора и квадратного петлевого резонатора. Поглощающие свойства рассмотренного экрана определяются тем, что ELC-резонатор взаимодействует с электрическим полем плоской волны когда вектор  $E$  ориентирован горизонтально или вертикально щели в середине ELC-резонатора. Между ELC-резонатором и петлевым элементом возникает циркуляция токов смещения, которые взаимодействуют с магнитным полем электромагнитной волны.

Исследования свойств микроволнового экрана состоящего из элементарных ячеек, была составлена численная модель в CST Microwave Studio и проведено его численное моделирование. Для моделирования был использован frequency domain solver для расчета полей внутри и вокруг ячейки. Моделирование свойств элементарной ячейки было проведено при различных граничных условиях: periodic boundary conditions (PBCs) и unit cells boundary conditions.

Результаты моделирования частотных зависимостей коэффициента отражения  $R(f)$ , коэффициента передачи  $T(f)$ , коэффициента ослабления  $A(f)$  при различных углах падения полны показывают, что поглощение электромагнитной волны в экране имеет резонансный характер. Для рассмотренной конструкции элементарной ячейки экрана пик поглощения находится в диапазоне 9,8–10,0 ГГц. Наибольшее поглощение электромагнитной волны наблюдается при падении плоской волны на плоскость экрана под углами  $0^\circ < \theta < 65^\circ$ . При падении электромагнитной волны на плоскость экрана под углом более чем  $65^\circ$  преобладает отражение от экрана.

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ПЕЧАТНЫХ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ РАЗОМКНУТЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ**

ХАЙДЕР ХУСЕЙН ШАКИР, ЮРИЙ БОБКОВ

Для исследования потенциальных возможностей использования печатных разомкнутых кольцевых резонаторов в качестве экранов электромагнитного излучения создана численная его модель и проведено численное моделирование.

Ячейка поглощающего экрана представляет собой два открытых разорванных резонатора расположенных на одной стороне платы. Оба резонатора являются зеркальным отображением друг друга. На противоположной стороне печатной платы экрана расположен один кольцевой резонатор перекрывающий площадь двух других.

Размеры резонаторов и размеры ячейки были выбраны такими, чтобы обеспечить пик поглощения электромагнитных волн в  $L$ -диапазоне. В численной модели в качестве диэлектрика, разделяющего резонаторы, использован FR-4 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4,4$  и углом диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta=0,025$  и толщиной  $t=0,8$  мм. Металлизация из которой выполнены печатные резонаторы представляет собой медь с проводимостью  $\sigma=5,8 \cdot 10^7$  См/м.

Моделирование элементарной ячейки экрана проводилось методом конечных элементов в частотной области с помощью САПР «Microwave studio». Для моделирования бесконечного экрана из описанных элементарных ячеек и уменьшения времени были

использованы граничные условия для ячеек Флоке. При моделировании свойств экрана проведен анализ распределения амплитуды электрического и магнитного полей в поперечном и продольном сечениях ячейки, рассчитаны коэффициенты прохождения  $T(\omega)$ , отражения  $R(\omega)$  и поглощения  $A(\omega)$  в диапазоне частот. Коэффициент поглощения вычислялся как  $A(\omega)=1-R(\omega)-T(\omega)$ .

Результаты моделирования показали, что поглощение энергии электромагнитной волны с помощью рассмотренного экрана имеет резонансный характер. На частоте поглощения экран концентрирует в себе до 50% энергии электромагнитной волны. При использовании одного слоя печатных резонаторов.

## **ЭКРАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОРОШКООБРАЗНОГО ПЕРЛИТА**

О.В. БОЙПРАВ, Л.Л. ГАНЬКОВ, В.В. БЕЗМЕН, Е.А. МИШКОВЕЦ

Экраны электромагнитного излучения (ЭМИ) на основе строительных материалов в настоящее время широко используются в процессе конструирования выделенных помещений. Один из способов управляемого изменения параметров характеристик отражения и передачи ЭМИ экранов ЭМИ связан с варьированием объемного соотношения их компонентов.

Цель работы заключалась в исследовании влияния процентного содержания порошкообразного перлита в экранах ЭМИ на значения их коэффициентов отражения и передачи ЭМИ. Исследованные образцы экранов ЭМИ характеризовались плоской поверхностью и были изготовлены на основе порошкообразного перлита размера фракций 1...3 мм и смеси гипса с 30%-ым водным раствором хлорида кальция. Общее количество исследованных образцов — 3. Процентное содержание порошкообразного перлита в образце № 1 — 30 об.%, в образцах № 2 и № 3 — 40 об.% и 50 об.% соответственно. Толщина каждого из образцов составляла 10 мм. Измерения значений коэффициентов отражения и передачи ЭМИ образцов проводились в диапазоне частот 0,7...17 ГГц с использованием панорамного измерителя коэффициентов отражения и передачи ЭМИ SNA 0,01–18.

Установлено, что значения коэффициентов отражения ЭМИ образца № 1 составляют -5...-2 дБ, образцов № 2 и № 3 — -7...-2 дБ и -10...-2 дБ. При этом значения коэффициентов передачи ЭМИ соответственно равны -23...-12 дБ, -25...-13 дБ и -30...-15 дБ. Таким образом, увеличение процентного содержания порошкообразного перлита с 30 об.% до 40 об.% в исследованных образцах приводит к снижению их коэффициента отражения и передачи ЭМИ в среднем на 2 дБ. В случае увеличения процентного содержания с 30 об.% до 50 об.% значения указанных коэффициентов снижаются соответственно на 5 дБ и 7 дБ. Увеличение процентного содержания порошкообразного перлита в исследованных образцах приводило к ухудшению их прочностных характеристик.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что для формирования экранов ЭМИ (как с плоской, так и с геометрически неоднородной поверхностью) наиболее приемлемо использовать смесь, содержащую 50 об.% связующего вещества и 50 об.% порошкообразного перлита.