

Анализ результатов численного моделирования отражательных характеристик радиолокационного покрытия на основе кольцевых резонаторов с МЭМС-переключателями

В. М. Гусаков¹, А. П. Алёшкин², И. В. Соломянный

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

¹st_325@mail.ru, ²a_aleshkin@mail.ru

Аннотация. В статье представлен анализ результатов численного моделирования радиолокационных покрытий на основе метаструктур в виде кольцевых резонаторов, расположенных на печатной плате и коммутируемых на подложку с помощью СВЧ МЭМС-переключателей.

Ключевые слова: радиолокация, покрытия, поглощение, управление

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных направлений синтеза радиолокационных покрытий является создание структур с управляемыми параметрами. Возможность управления полосой поглощения открывает новые возможности при разработке и целевом применении радиоэлектронных средств диапазона СВЧ. Такие структуры могут быть полезны как для уменьшения радиолокационной заметности различных объектов, так и для адаптации антенных систем в условиях изменяющейся обстановки.

II. СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ ПОКРЫТИЙ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Изучение свойств радиолокационных покрытий показывает, что существует связь между уровнем поглощения, частотным диапазоном и толщиной покрытия [1]. Одним из способов увеличить уровень поглощения в узком диапазоне частот при минимальной толщине покрытия является использование внутри него частотно-селективных структур (ЧСС) – дифракционных решеток. Дифракция волн на структуре при правильном выборе параметров покрытия и структуры приводит к ярко выраженному резонансу поглощения, при этом резонансная частота и полоса поглощения зависят от периода, вида и размеров структуры. Исследования в данной области показали, что существуют ЧСС, параметрами которых возможно управлять [2, 3]. Такие структуры представляют собой распределенные колебательные контуры – кольцевые резонаторы, щели, рамки, грибовидные элементы и т. д. В качестве средства управления ЧСС, как правило, предлагается использование варакторов (варикапов), впаянных между элементами ЧСС или внутри элемента.

Использование варакторов удобно для плавной перестройки резонансной частоты, но при этом возникают сложности с их подключением и

управлением. Еще одной особенностью при использовании варакторов является необходимость учета зависимости их емкости от температуры. При этом существует много задач, когда достаточно дискретного управления параметрами покрытия, например, уменьшить коэффициент поглощения на рабочей частоте в момент передачи и увеличить в нерабочее время. В данном случае предпочтительнее использование СВЧ переключателей: один из вариантов построения радиолокационных покрытий с управляемыми параметрами – применение СВЧ МЭМС переключателей. В отличие от полупроводниковых МЭМС переключатели имеют более высокие эксплуатационные характеристики (в том числе, радиационную стойкость) и коммутируемую мощность [4].

III. ОПИСАНИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ КОЛЬЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ С МЭМС-ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЯМИ

Одной из проблем при создании частотно-селективных покрытий является достижение приемлемой технологичности их производства, связанной, в первую очередь, с возможностями встраивания элементов дифракционной решетки в слои покрытия. Рассмотрен вариант построения покрытия в виде 3х слойной структуры – 2х слойной печатной платы толщиной 2 мм и поглощающего слоя в виде смеси сажи и полиуретана с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=3$ и тангенсом угла потерь $\text{tge} = 0,2$, наносимой сверху на плату с толщиной 3 мм (рис. 1). Технологические возможности производства печатных плат позволяют в настоящее время с высокой точностью реализовать конфигурацию и идентичность ЧСС. На верхнем слое платы размещаются кольцевые резонаторы, на нижнем – элементы управления: СВЧ переключатели и микроконтроллер для управления их переключением. Рабочий диапазон 2–3 ГГц. Управление резонансной частотой ЧСС производится коммутацией кольцевых резонаторов на металлическую подложку. Предварительные расчеты показали, что для работы в данном частотном диапазоне период ЧСС должен быть равен 40 мм.

На рис. 2 представлены результаты расчета зависимости ЭПР исследуемой структуры от диаметра кольца. Как видно из рисунка, диаметр кольца также влияет на резонансную частоту поглощения, как и период решетки.

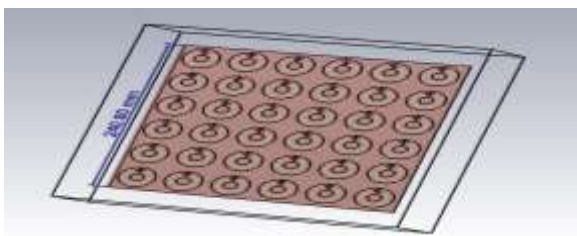


Рис. 1. Внешний вид покрытия на основе кольцевых резонаторов

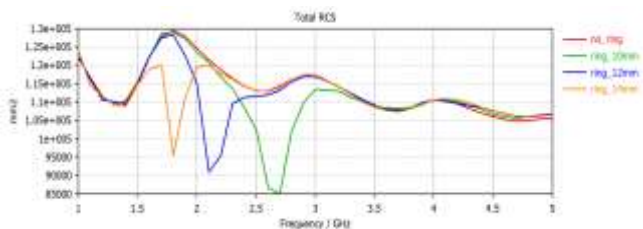


Рис. 2. Зависимость ЭПР ЧСС от диаметра кольца

На рис. 3 представлены зависимости изменения полосы поглощения исследуемой ЧСС при ее коммутировании на экран с помощью переходных отверстий (via) внутренним диаметром 0,6 мм и толщиной 0,2 мм при толщине кольца 10 мм. Толщина разреза кольца равна 0,4 мм.

Как следует из графиков, при коммутировании происходит смещение резонансной частоты в низкочастотную область, при этом, когда коммутирование происходит только с одной стороны разреза, частота сдвигается сильнее. Увеличение ширины разреза приводит к уменьшению расстояний между резонансными частотами, что также возможно использовать для построения покрытия с требуемыми частотными характеристиками.

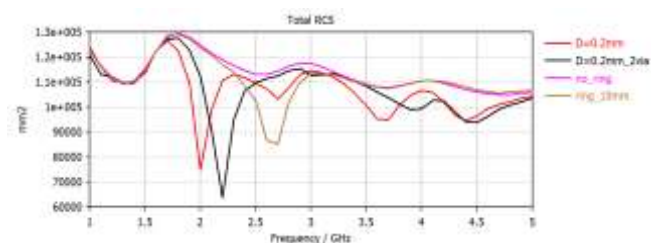


Рис. 3. Зависимость ЭПР ЧСС при коммутировании кольцевых резонаторов на экран

Таким образом, результаты численного моделирования показывают возможность создания покрытий с управляемыми параметрами на основе кольцевых резонаторов с СВЧ переключателями, при этом конфигурация ЧСС и количество подключаемых переходных отверстий позволяют выбрать шаг перестройки резонансной частоты в зависимости от условий решаемой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Федюнин П.А., Степаненко И.Т. Частотный диапазон радиопоглощающих покрытий и оценка их предельных свойств // Вестник ТГУ. 2002. том 7, №1. С. 102.
- [2] Казанцев Ю.Н., Крафтмахер Г.А., Мальцев В.П. Управляемые полосно-пропускающие частотно-селективные поверхности / Радиотехника и электроника. 2014. том 59 №9. С. 908–916.
- [3] Кухаренко А.С., Елизаров А.А. Анализ физических особенностей метаматериалов и частотно-селективных СВЧ-устройств на их основе // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. Том 9. №5. С. 36–41.
- [4] Кочемасов В., Майстренко А. СВЧ-переключатели на основе МЭМС // СВЧ-электроника. 2016. №1. С. 36–42.