

Магнитоэлектрический управляемый копланарный СВЧ вентиль-аттенюатор

Представлены результаты компьютерного моделирования и экспериментальных исследований магнитоэлектрического копланарного СВЧ вентиля-аттенюатора. Продемонстрирована возможность построения электрически-управляемых невзаимных ферритовых устройств на основе ферритовых прототипов.

Ключевые слова: магнитоэлектрические материалы, невзаимные устройства, СВЧ вентиль-аттенюатор, феррит-пьезоэлектрический резонатор

Задача качественного согласования источника СВЧ мощности с нагрузкой в полосе частот решается при использовании невзаимных свойств ферритов, т.к. феррит является единственной освоенной в производстве средой с управляемым параметром магнитной проницаемости, т.е. обладает невзаимными свойствами [1].

Но в ферритовых невзаимных устройствах управление магнитной проницаемостью реализуется магнитной управляющей системой, поэтому такие устройства имеют низкое быстродействие и не могут быть изготовлены в интегральном исполнении.

Магнитоэлектрические (МЭ) невзаимные устройства могут устранить существующие недостатки ферритовых устройств: уменьшить стоимость устройств; повысить быстродействие; уменьшить мощность, потребляемую в цепи управления; избавиться от наводок, неизбежно возникающих при управлении магнитным полем; осуществить развязку цепей управления одновременно электрическим и магнитным полями [2].

Отличие предлагаемых МЭ невзаимных устройств от ферритовых заключается в замене ферритового резонатора и магнитной управляющей системы на феррит-пьезоэлектрический резонатор и систему электродов, подключенных к источнику управляющего электрического напряжения.

Анализ практической применимости МЭ материалов показывает, что наиболее эффективными МЭ материалами в диапазоне СВЧ следует считать пьезоэлектрические ферримагнетики и композиционные многослойные материалы, поскольку в них МЭ эффекты достигают максимальной величины [2].

В данной статье представлены результаты компьютерного моделирования и экспериментальных исследований МЭ СВЧ вентиля-аттенюатора, выполненного на копланарном волноводе. В качестве невзаимного элемента используется двуслойная структура феррит-пьезоэлектрического резонатора с системой электродов, к которым подводится управляющее напряжение. Прототипом является ферритовый вентиль на копланарном волноводе [3].

Копланарный волновод имеет простую конструкцию и обеспечивает эллиптическую поляризацию магнитного поля, которая необходима для создания невзаимных приборов. Также легко осуществить связь этого волновода с микрополосковой линией с помощью коаксиального перехода.

Принцип действия предлагаемого вентиля-аттенюатора основан на микроволновом МЭ эффекте, заключающемся в сдвиге линии ФМР под действием электрического поля. МЭ слоистая структура в этом случае играет роль резонатора.

Конструкция МЭ копланарного СВЧ вентиля-аттенюатора представлена на рис. 1.

На рис. 2 представлена конструкция МЭ резонатора.

Основой конструкции МЭ копланарного СВЧ вентиля-аттенюатора является копланарный волновод на подложке с высокой диэлектрической проницаемостью и МЭ резонаторы – прямоугольные (или в виде дисков) образцы композита состава цирконат-титанат свинца (ЦТС) – железо иттриевого граната (ЖИГ). Постоянный магнит создает в объеме МЭ резонатора необходимое подмагничивающее поле, к управляющим электродам подводится управляющее напряжение.

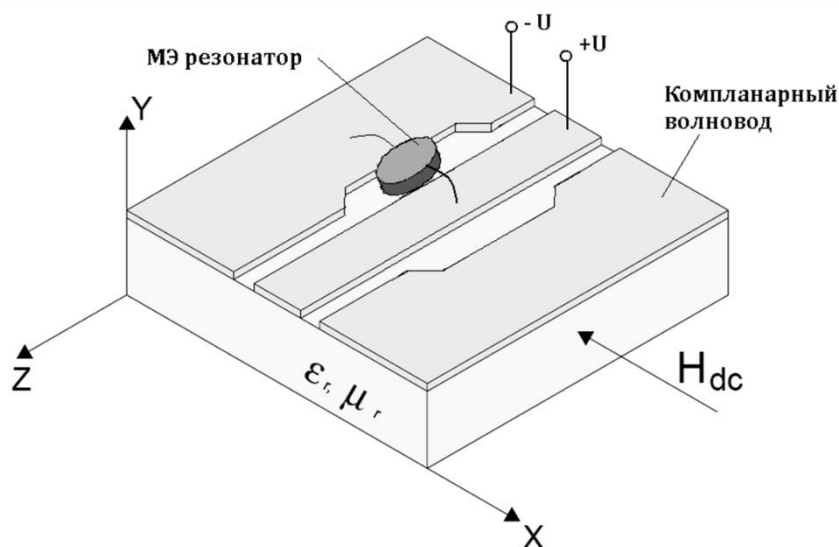


Рисунок 1.

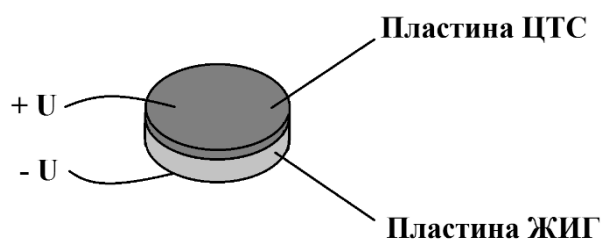


Рисунок 2.

Материал на основе монокристаллического ЖИГ и керамики ЦТС был выбран вследствие того, что он обладает подходящими характеристиками для построения электрически-управляемого вентиля-аттенюатора, поскольку линия магнитного резонанса ЖИГ достаточно узка. Вследствие малой ширины резонансной кривой требуется меньшее управляющее напряжение при том же вносимом вентилем-аттенюатором затухании [4].

С целью подбора оптимальных характеристик волновода и резонатора было проведено компьютерное моделирование различных структур копланарных вентилях, один из результатов показан на рис. 3. Резонатор – толстая ферритовая пленка ЖИГ (1 мм × 0,1 мм ×

10 мм); ширина щели – 0,5 мм, уширение щели до 1,2 мм; ширина центрального проводника – 1,4 мм; диэлектрическая проницаемость подложки – 10; толщина подложки – 1 мм; подмагничивающее поле – 3125 Э (направлено по касательной).

На рис. 4 показан другой результат моделирования: размеры пластины ЖИГ: (0,25 мм × 15 мм × 0,1 мм); ширина щели – 0,8 мм; ширина центрального проводника – 0,75 мм; диэлектрическая проницаемость подложки – 130; толщина подложки – 0,5 мм; $H_0 = 2125$ Э.

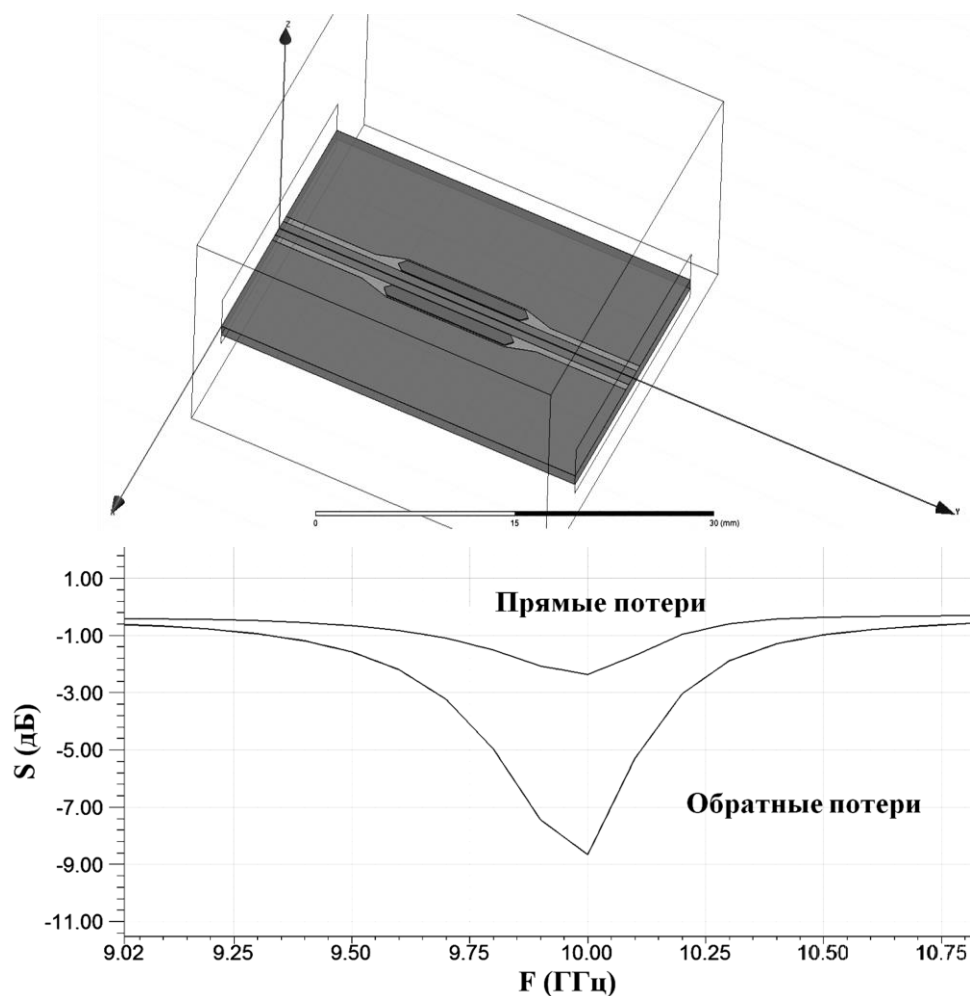


Рисунок 3.

Сдвиг линии магнитного резонанса при приложении электрического поля к МЭ резонатору определяется как

$$\delta H_E = H_0(E_2) - H_0(E_1), \quad (1)$$

$$H_0(E) = H_0 + \delta H_E, \quad (2)$$

где H_0 – резонансное магнитное поле при $E = 0$; A – магнитоэлектрический коэффициент; E – прикладываемое постоянное электрическое поле.

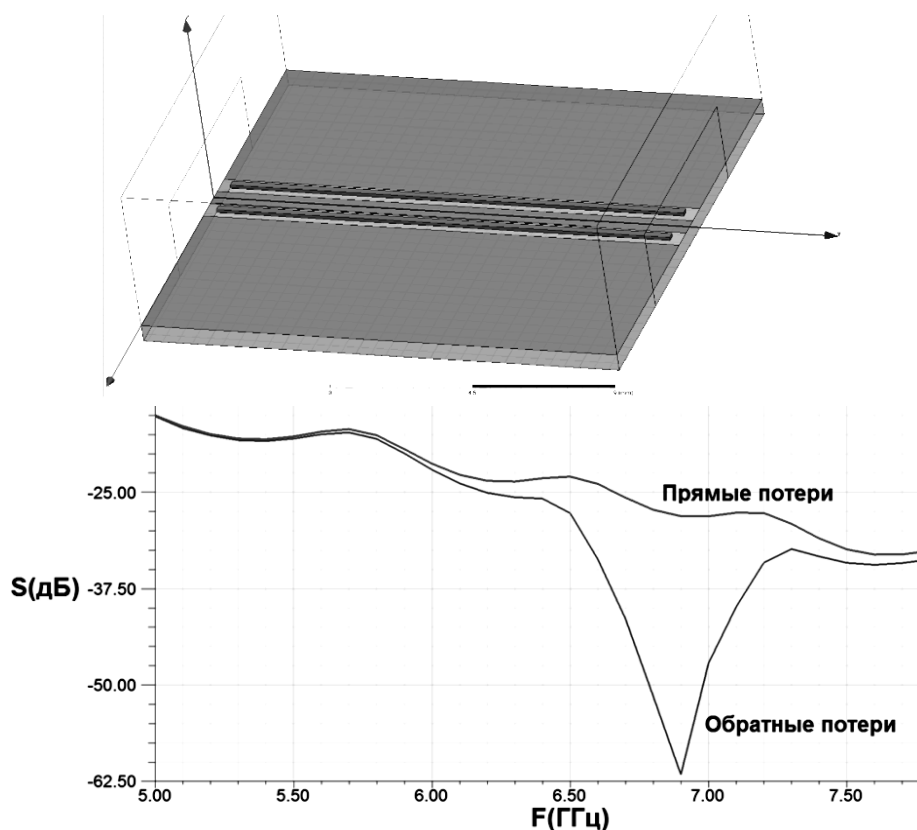


Рисунок 4.

Экспериментальное исследование было проведено с копланарным ферритовым вентилем. Опытный образец – копланарный волновод с помещенным в щель ферритовым образцом (рис. 4). Измерение передаточных характеристик опытного образца проводились на измерительном стенде, состоящем из установки для измерения передаточных характеристик OBZOR-804, дипольного электромагнита переменного зазора GMW 5403 и источника постоянного тока Sorensen DLM 20-30.

В качестве резонаторов использовались ЖИГ стержень размерами $(13 \times 4 \times 2,5)$ мм³ (рис. 5, $H_0 = 1780$ Э) и пластина ЖИГ размерами $(13 \times 4 \times 0,9)$ мм³ (рис. 6, $H_0 = 1902$ Э). *Параметры копланарного волновода*: ширина щели $S = 3$ мм; расстояние между щелями $W = 2$ мм; толщина подложки $h = 2$ мм; диэлектрическая проницаемость подложки $\epsilon = 10$.

На рис. 5 и 6 представлены экспериментальные зависимости затухания в прямом и обратном направлениях для исследуемых структур.

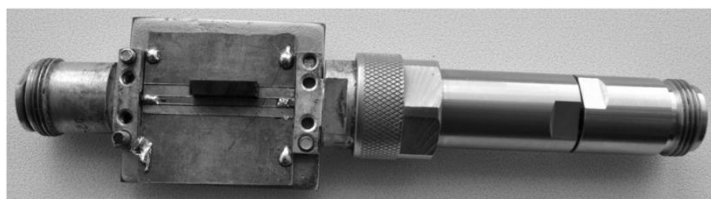


Рисунок 4.

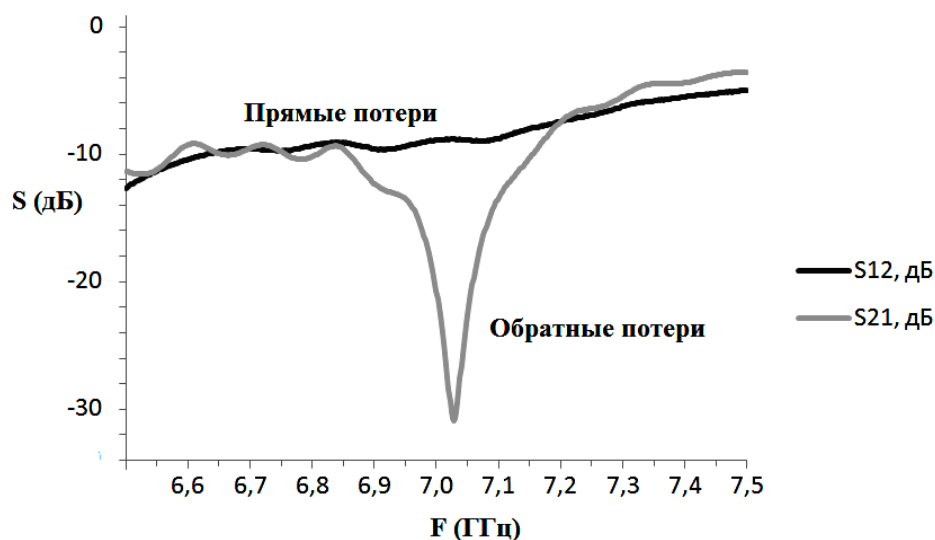


Рисунок 5.

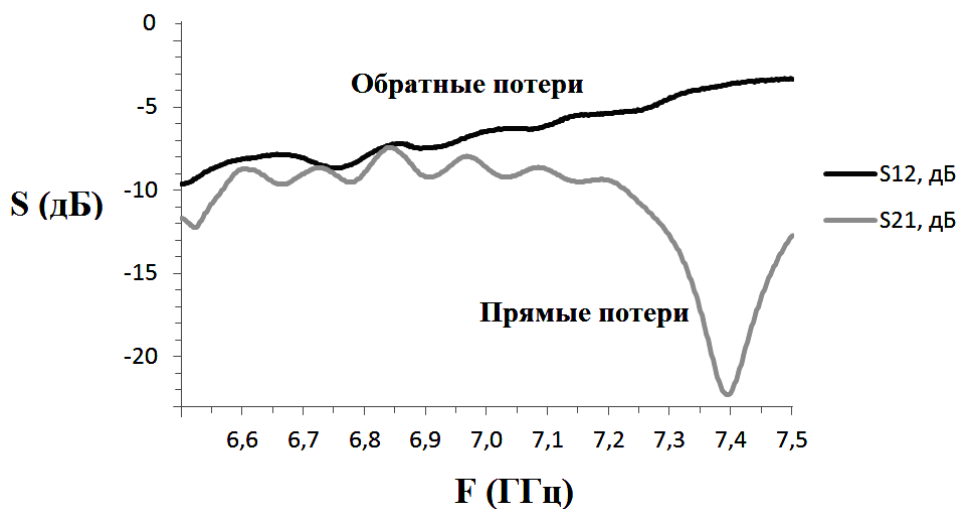


Рисунок 6.

Для уменьшения управляющего напряжения и увеличения вентиляющего отношения необходимо уменьшать толщину сегнетоэлектрика, а, следовательно, и феррита. Проведенное моделирование позволило осуществить выбор параметров волновода, подложки и формы феррита.

Библиографический список

1. Гуревич А.Г. Ферриты на сверхвысоких частотах / А. Г. Гуревич. – М.: Физматгиз, 1960. – С. 203–255.
2. Бичурин М.И., Петров В.М., Филиппов Д.А., Сринивасан Г., Нан С.В. Магнитоэлектрические материалы. – М.: Изд-во Академия Естествознания, 2006. – 296 с.
3. Wen C. P., Coplanar waveguide: A surface strip transmission line suitable for nonreciprocal gyromagnetic device application, IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-17, pp. 1087–1090, 1969.
4. Магнитоэлектрический эффект в композиционных материалах / М.И. Бичурин, В.М. Петров, Д.А. Филиппов, Г. Сринивасан; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2005. – 226 с.