

УДК 621.372

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ УПРАВЛЯЕМЫЙ КОПЛАНАРНЫЙ СВЧ ВЕНТИЛЬ-АТТЕНЮАТОР**Д.В.Лаврентьева, А.С.Татаренко****CONTROLLED MAGNETOELECTRIC COPLANAR MICROWAVE ISOLATOR-ATTENUATOR****D.V.Lavrent'eva, A.S.Tatarenko***Институт электронных и информационных систем НовГУ, Alexandr.Tatarenko@novsu.ru*

Рассмотрен электрически управляемый магнитоэлектрический СВЧ вентиль-аттенюатор на основе слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры, выполненный на копланарном волноводе. Проведено моделирование различных структур копланарных устройств для подбора оптимальных характеристик волновода и резонатора.

Ключевые слова: *магнитоэлектрические устройства, управляемый вентиль-аттенюатор, феррит-пьезоэлектрик*

An electrically controlled magnetolectric microwave isolator-attenuator based on layered ferrite-piezoelectric structure and formed on a coplanar waveguide is presented. The simulations of different structures of coplanar devices are made for selecting optimal waveguide and resonator characteristics.

Keywords: *magnetolectric devices, controlled isolator-attenuator, ferrite-piezoelectric*

Введение

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].

Таким образом, ферритовые СВЧ устройства, такие как вентили, аттенюаторы и циркуляторы, —

это устройства, позволяющие защитить вход передатчика от паразитного электромагнитного излучения, воздействующего в полосе рабочих частот. Они являются незаменимыми приборами для телевидения, радиолокации, радиовещания и связи.

Однако в ферритовых невзаимных устройствах управление параметрами реализуется магнитной управляющей системой, поэтому такие устройства имеют низкое быстродействие, высокое энергопотребление 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.

Магнитоэлектрический копланарный СВЧ вентиль-аттенюатор

Здесь мы обсуждаем СВЧ вентиль-аттенюатор, выполненный на копланарном волноводе. В качестве невзаимного элемента используется слоистая МЭ структура на основе феррит-пьезоэлектрика с системой электродов для подачи управляющего напряжения. Прототипом является ферритовый вентиль на копланарном волноводе [3].

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.

Основой конструкции МЭ копланарного 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-иттриевый гранат (ЖИГ). Постоянный магнит создает в объеме МЭ резонатора необходимое подмагничивающее поле, к управляющим электродам подводится управляющее напряжение.

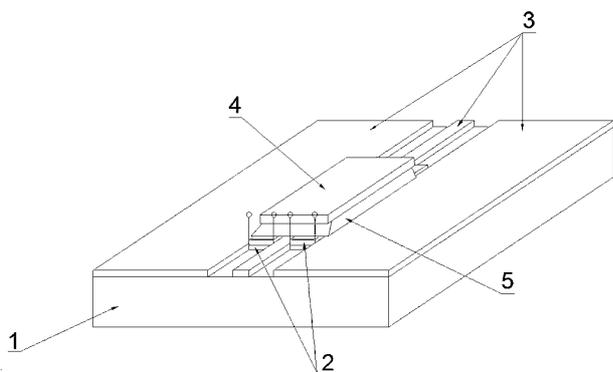


Рис.1. МЭ копланарный вентиль-аттенюатор. 1 — диэлектрическая подложка; 2 — магнитоэлектрические резонаторы; 3 — металлические проводники, образующие копланарный волновод; 4 — постоянный магнит; 5 — диэлектрическая пластина с высокой диэлектрической проницаемостью

На рис.1 представлена конструкция МЭ копланарного вентиля-аттенюатора. Для улучшения эллиптичности, а следовательно, и вентиляционного отношения, над МЭ резонаторами установлена керамическая пластина с высокой диэлектрической проницаемостью со скошенными краями, как предложено в [3].

На рис.2 представлена конструкция МЭ резонатора.

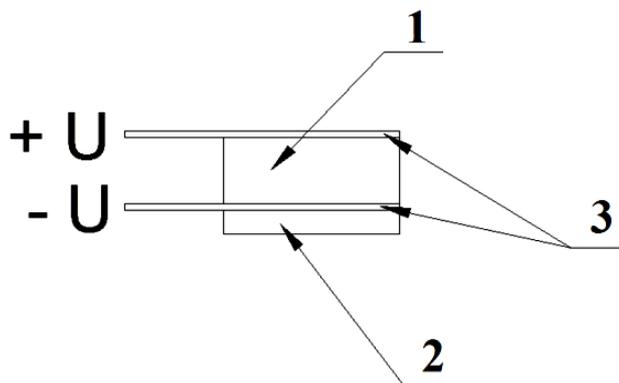


Рис.2. МЭ резонатор. 1 — пьезоэлектрическая компонента; 2 — ферритовая компонента; 3 — металлические электроды

С целью подбора оптимальных характеристик волновода и резонатора было проведено моделирование различных структур копланарных вентиля-аттенюаторов (рис.3-5). В качестве резонатора исследовались толстые ферритовые пленки, подмагничивающее поле направлено по касательной к плоскости пленки.

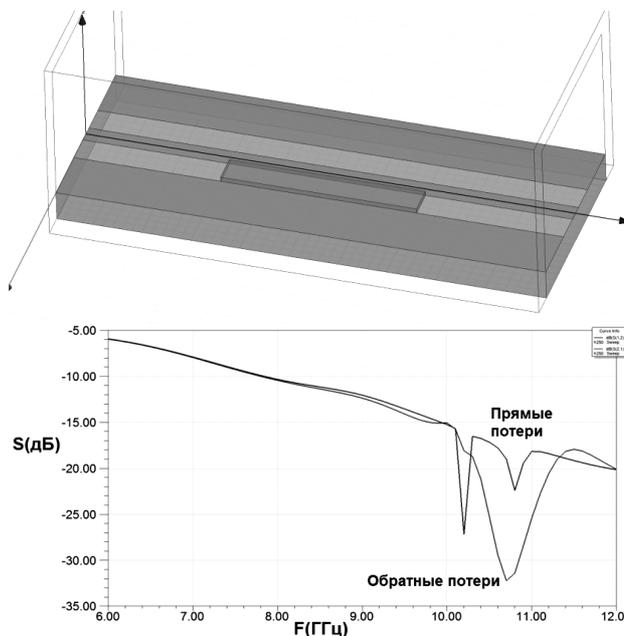


Рис.3. Структура ферритового копланарного вентиля и зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц). Размеры пластины ЖИГ — $(0,6 \times 4 \times 0,1)$ мм³; ширина щели — 0,4 мм; ширина центрального проводника — 0,6 мм; ϵ подложки — 40; толщина подложки — 1 мм; $H_0 = 3125$ Э

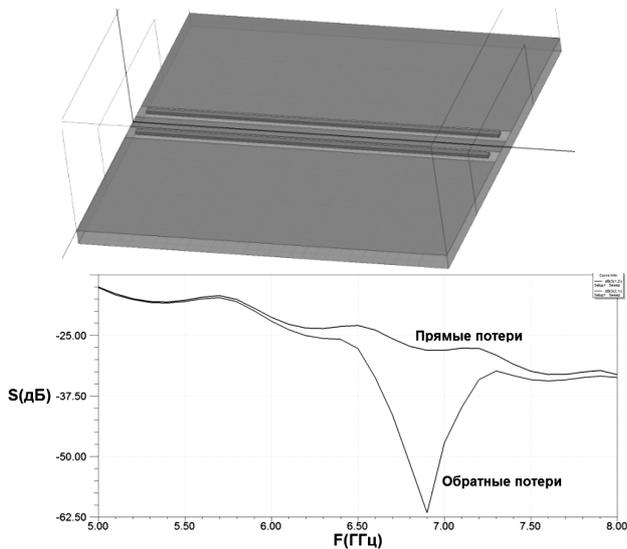


Рис.4. Структура ферритового копланарного вентиля и зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц). Размеры пластины ЖИГ — $(0,25 \times 15 \times 0,1)$ мм³; ширина щели — 0,8 мм; ширина центрального проводника — 0,75 мм; ϵ подложки — 130; толщина подложки — 0,5 мм; $H_0 = 2125$ Э

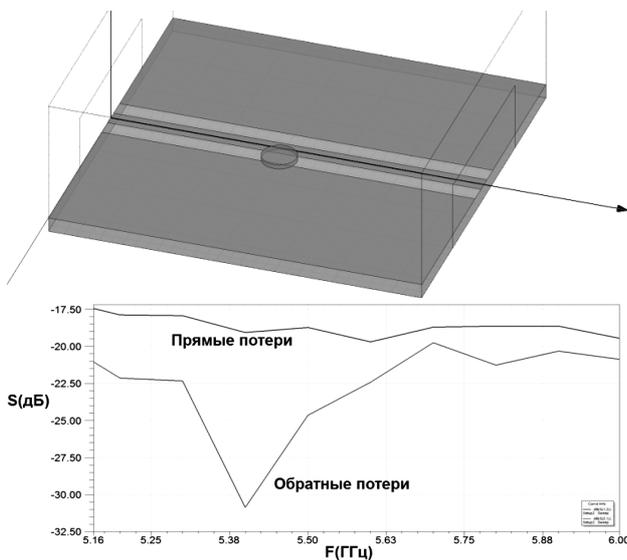


Рис.5. Структура ферритового копланарного вентиля и зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц). Размеры диска ЖИГ: $\varnothing 1,5$ мм, толщина — 0,2 мм; ширина щели — 0,8 мм; ширина центрального проводника — 0,75 мм; ϵ подложки — 130; толщина подложки — 0,5 мм; $H_0 = 1250$ Э

Сдвиг линии магнитного резонанса при приложении электрического поля 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 $E = 0$; E — прикладываемое постоянное электрическое поле.

Для экспериментального подтверждения проведенного моделирования был изготовлен макет копланарного устройства. Внешний вид опытного образца копланарного волновода с помещенным в щель ферритовым образцом представлен на рис.6.

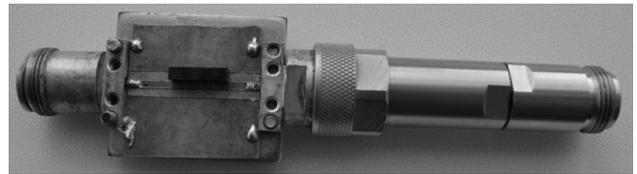


Рис.6. Макет копланарного вентиля-аттенюатора

Измерение передаточных характеристик опытного образца проводились на измерительном стенде, состоящем из векторного панорамного анализатора цепей Обзор-804, электромагнита переменного зазора GMW5403 и источника постоянного тока «Sorensen DLM 20-30».

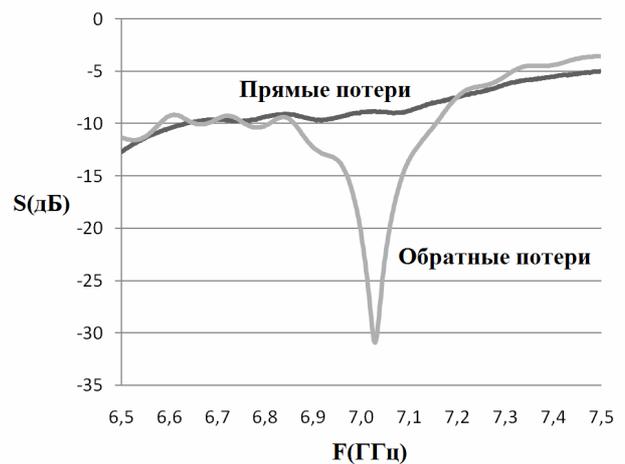


Рис.7. Экспериментальная зависимость затухания от частоты. Стержень ЖИГ, $H_0 = 1780$ Э

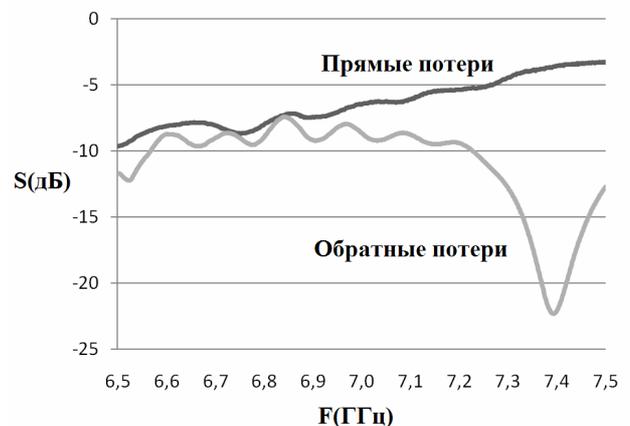


Рис.8. Экспериментальная зависимость затухания от частоты. Пластина ЖИГ, $H_0 = 1902$ Э

В качестве резонаторов использовались ЖИГ стержень размерами 13мм×4мм×2,5мм (рис.7) и пластина ЖИГ размерами 13мм×4мм×0,9 мм (рис.8). 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.7 и 8 представлена экспериментальная зависимость затухания в прямом и обратном направлениях для исследуемой структуры.

Заключение

Проведено моделирование различных структур копланарного вентиля-аттенюатора. Для уменьшения управляющего напряжения и увеличения вентиляционного отношения необходимо уменьшать толщину сегнетоэлектрика, а следовательно, и феррита. Проведенное моделирование позволило осуществить выбор параметров волновода, подложки и формы феррита.

Использование МЭ композитов в резонансных СВЧ устройствах позволяет осуществить электрическое управление их параметрами и открывает перспективные возможности для создания на их основе новых устройств функциональной электроники.

1. Гуревич А.Г. Ферриты на сверхвысоких частотах. М.: Физматгиз, 1960. С.203-255.
2. Бичурин М.И., Петров В.М., Филиппов Д.А. и др. Магнитоэлектрические материалы. М.: 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. 1969. Vol. MTT-17. P.1087-1090.

References

1. Gurevich A.G. Ferrity na sverkhvysokikh chastotakh [Ferrites and ultra-high frequencies]. Moscow, "Fizmatgiz". Publ., 1960. Pp. 203–255.
2. Bichurin M.I., Petrov V.M., Filippov D.A., Srinivasan G., Nan S.V. Magnitoelektricheskie materialy [Magnetolectric materials]. Moscow, "Akademiia Estestvoznaniia" Publ., 2006. 296 p.
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.