

УДК 621.372

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СВЧ ВЕНТИЛЯ-АТТЕНЮАТОРА,  
РЕАЛИЗОВАННОГО НА ЩЕЛЕВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ**

**Д.В.Снисаренко, А.С.Татаренко, Д.В.Коваленко, В.Н.Лобекин**

**MODELING OF A MAGNETOELECTRIC (ME) MICROWAVE ISOLATOR-ATTENUATOR  
FORMED ON A SLOT LINE**

**D.V.Snisarenko, A.S.Tatarenko, D.V.Kovalenko, V.N.Lobekin**

*Институт электронных и информационных систем НовГУ, [Alexandr.Tatarenko@novsu.ru](mailto:Alexandr.Tatarenko@novsu.ru)*

Рассмотрена возможность реализации магнитоэлектрического (МЭ) СВЧ вентиля-аттенюатора на щелевой линии передачи, управляемого электрическим полем. Представлены результаты компьютерного моделирования различных

конструкций МЭ СВЧ вентиля-аттенуаторов с резонатором на основе слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры, реализованных на щелевой линии передачи.

**Ключевые слова:** МЭ СВЧ вентиль-аттенуатор, щелевая линия передачи, феррит-пьезоэлектрический резонатор

This paper considers the possibility of designing an electrically controlled magnetolectric (ME) microwave isolator-attenuator based on a slot line. The authors presented the computer simulation results of different ME microwave isolator-attenuators' design based on layered ferrite-piezoelectric resonators on the slot line.

**Keywords:** ME microwave isolator-attenuator, slot line, ferrite-piezoelectric resonator

**Введение**

Разработка МЭ СВЧ устройств является в настоящее время одним из перспективных направлений развития СВЧ-техники, поскольку такие устройства имеют существенные преимущества перед ферритовыми СВЧ невзаимными устройствами. В ферритовых прототипах управление параметрами реализуется магнитной управляющей системой, поэтому они имеют низкое быстродействие, высокое энергопотребление и не могут быть изготовлены в интегральном исполнении [1].

Отличие МЭ СВЧ невзаимных устройств от ферритовых заключается в замене ферритового резонатора и магнитной управляющей системы на феррит-пьезоэлектрический резонатор и электрическую управляющую систему, состоящую из двух электродов, на которые подается управляющее напряжение.

Управление электрическим полем позволяет реализовывать невзаимные СВЧ устройства в интегральном исполнении, что приводит к уменьшению стоимости устройств; повышает их быстродействие; уменьшает мощность, потребляемую в цепи управления; избавляет от наводок, возникающих при управлении магнитным полем [2].

Основой конструкции магнитоэлектрического СВЧ вентиля-аттенуатора является щелевая линия передачи на подложке из диэлектрического материала и МЭ резонатор, размещенный в щели. На обратной стороне подложки металлизация отсутствует, подмагничивающее поле направлено по касательной (рис.1).

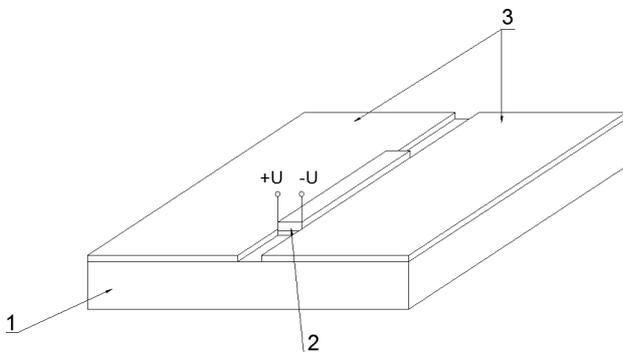


Рис.1. Конструкция МЭ СВЧ вентиля-аттенуатора, реализованного на щелевой линии передачи: 1 — диэлектрическая подложка; 2 — феррит-пьезоэлектрический резонатор; 3 — металлические проводники, образующие щелевую линию передачи

Принцип действия устройства основан на микроволновом МЭ эффекте, заключающемся в сдвиге линии ФМР под действием приложенного электрического поля.

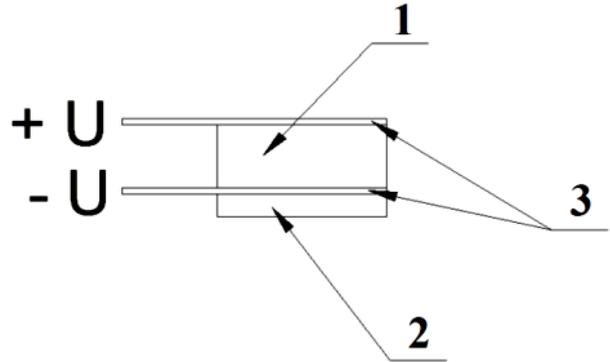


Рис.2. Феррит-пьезоэлектрический резонатор: 1 — пьезоэлектрическая компонента; 2 — ферритовая компонента; 3 — металлические электроды

Феррит-пьезоэлектрический резонатор (рис.2) представляет собой образец композита цирконат-титанат свинца (ЦТС) — железо иттриевый гранат (ЖИГ, толстые пленки) в форме пластины. Необходимое для выбора рабочей частоты подмагничивающее поле в объеме резонатора создается постоянным магнитом, к электродам подводится управляющее напряжение.

**Моделирование МЭ СВЧ вентиля, реализованного на щелевой линии передачи**

Результаты компьютерного моделирования для различных конструкций МЭ СВЧ вентиля, реализованных на щелевой линии передачи, представлены на рис.3-10 и в обобщающей таблице.

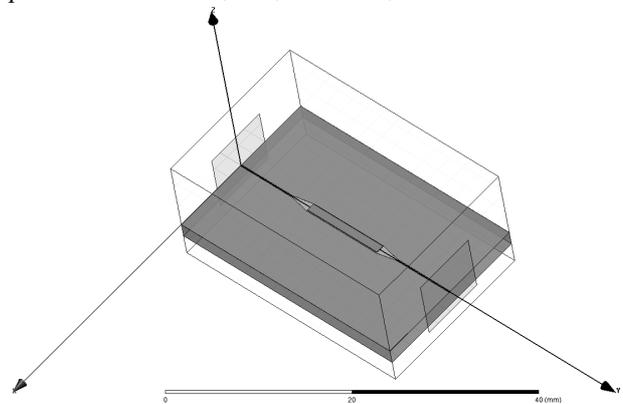


Рис.3. Модель МЭ СВЧ вентиля-аттенуатора, реализованного на щелевой линии передачи с уширением щели

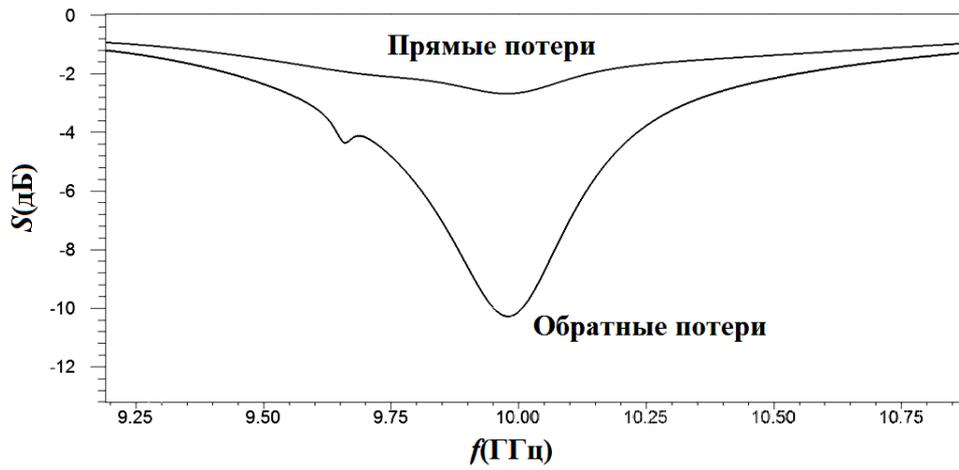


Рис.4. Зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц). Размеры резонатора:  $10 \times 1 \times 0,1$  мм; ширина щели: 0,2 мм, уширение щели до 1,2 мм (вид конструкции см. на рис.3); относительная диэлектрическая проницаемость подложки: 10, толщина подложки: 2 мм; подмагничивающее поле: 3142 Э

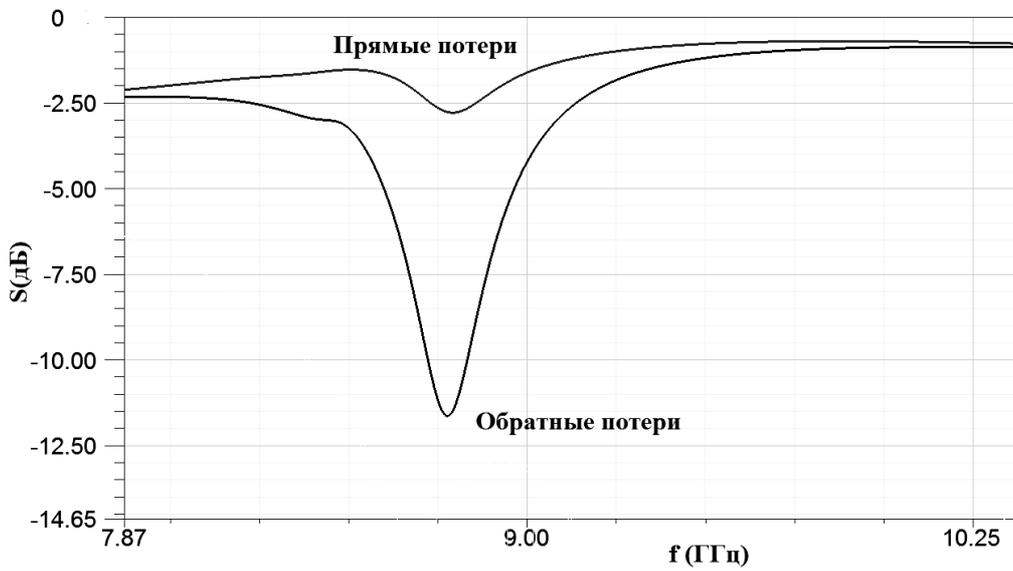


Рис.5. Зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц). Размеры резонатора:  $10 \times 1 \times 0,2$  мм; ширина щели: 0,2 мм, уширение щели до 1,2 мм (вид конструкции см. на рис.3); относительная диэлектрическая проницаемость подложки: 10, толщина подложки: 2 мм; подмагничивающее поле: 2765 Э

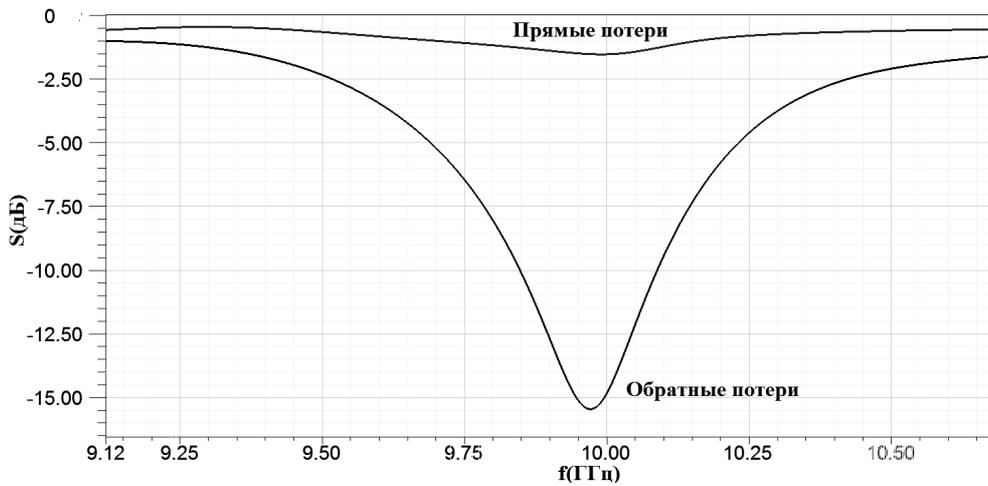


Рис.6. Зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц). Размеры резонатора:  $10 \times 1 \times 0,1$  мм; ширина щели: 0,45 мм, уширение щели до 1,2 мм (вид конструкции см. на рис.3); относительная диэлектрическая проницаемость подложки: 20, толщина подложки: 2 мм; подмагничивающее поле: 3142 Э

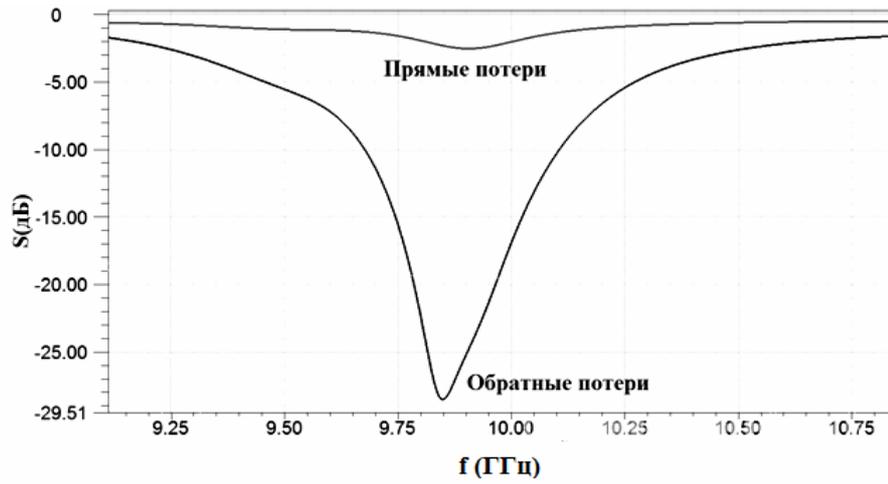


Рис.7. Зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц). Размеры резонатора:  $10 \times 1 \times 0,2$  мм; ширина щели: 0,45 мм, уширение щели до 1,2 мм (вид конструкции см. на рис.3); относительная диэлектрическая проницаемость подложки: 20, толщина подложки: 2 мм; подмагничивающее поле: 3142 Э

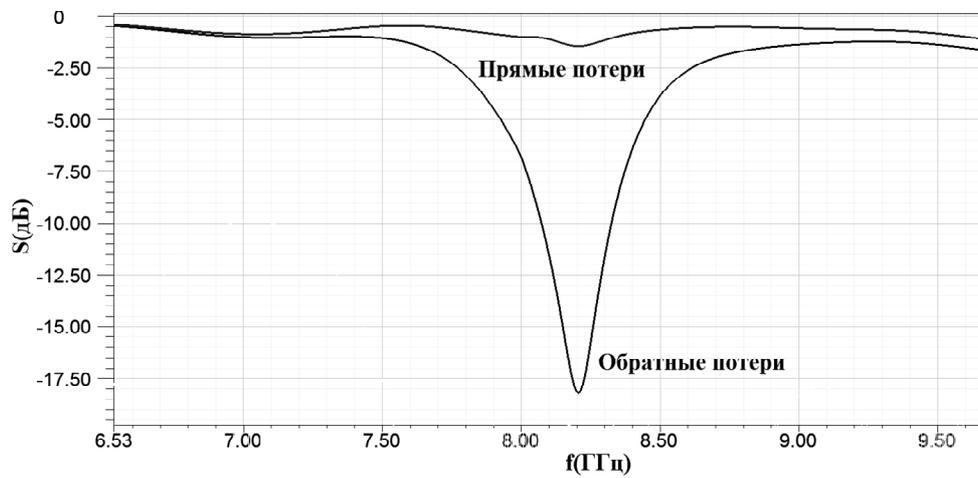


Рис.8. Зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц). Размеры резонатора:  $10 \times 1 \times 0,2$  мм; ширина щели: 0,62 мм, уширение щели до 1,2 мм (вид конструкции см. на рис.3); относительная диэлектрическая проницаемость подложки: 30, толщина подложки: 2 мм; подмагничивающее поле: 2514 Э

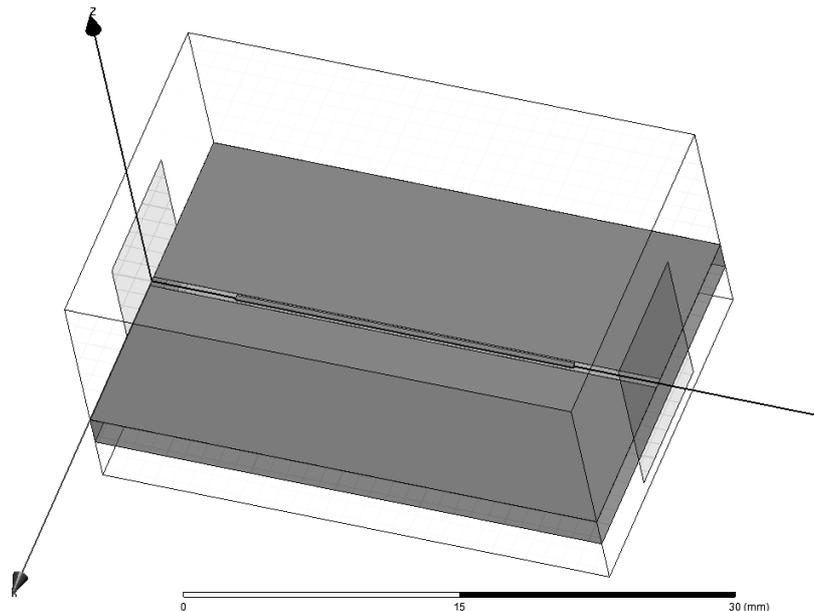


Рис.9. Модель МЭ СВЧ вентиля-аттенюатора, реализованного на щелевой линии передачи без уширения щели

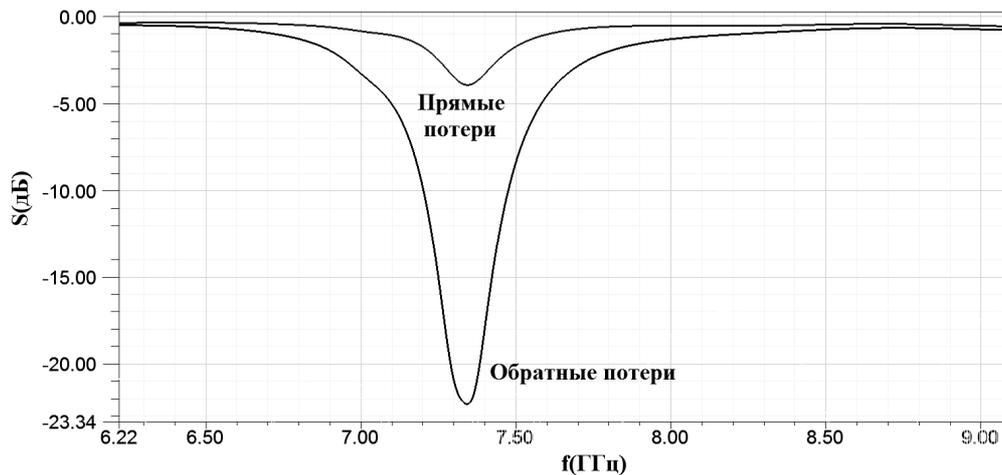


Рис.10. Зависимость затухания (дБ) от частоты (ГГц). Размеры резонатора:  $10 \times 0,3 \times 0,1$  мм; ширина щели: 0,62 мм (вид конструкции см. на рис.9); относительная диэлектрическая проницаемость подложки: 30, толщина подложки: 2 мм; подмагничивающее поле: 2262 Э

Результаты компьютерного моделирования различных конструкций прототипов МЭ СВЧ вентиляей, реализованных на щелевой линии передачи

Конструкция	Размеры резонатора ЖИГ, мм <sup>3</sup>	Ширина щели линии	Относительная диэлектрическая проницаемость подложки	Прямые потери, дБ	Обратные потери, дБ	Вентильное отношение
Рис.4	$10 \times 1 \times 0,1$	0,2 мм, уширение до 1,2 мм	10	2,68	10,27	3,83
Рис.5	$10 \times 1 \times 0,2$			2,80	11,65	4,16
Рис.6	$10 \times 1 \times 0,1$	0,45 мм, уширение до 1,2 мм	20	1,50	15,50	10,33
Рис.7	$10 \times 1 \times 0,2$			2,50	28,50	11,40
Рис.8	$10 \times 1 \times 0,1$	0,62 мм, уширение до 1,2 мм	30	1,45	18,20	12,55
Рис.10	$10 \times 0,3 \times 0,1$			0,62 мм	3,90	22,30

Вентильное отношение возрастает с увеличением диэлектрической проницаемости подложки, поскольку улучшается эллиптичность линии передачи. Также на величину вентильного отношения оказывает влияние форма ферритового резонатора. Увеличение толщины пленки ЖИГ и длины образца приводит к увеличению как обратных, так и прямых потерь, а вентильное отношение при этом увеличивается незначительно.

Анализ проведенного компьютерного моделирования показал, что для создания МЭ СВЧ вентиля-аттенуатора на щелевой линии передачи необходимо, чтобы толщина слоя ЖИГ была в пределах (0,1...0,5) мм, поскольку для достижения максимального МЭ коэффициента в структуре ЖИГ — ЦТС требуется соблюдать определенное соотношение толщин данных слоев структуры: увеличение толщины ЖИГ повлечет за собой увеличение толщины ЦТС, что вызовет необходимость в приложении большего управляющего напряжения к электродам.

Таким образом, для увеличения величины вентильного отношения МЭ СВЧ вентиля-аттенуатора на основе щелевой линии необходимо использовать линию передачи с уширением щели на подложке с диэлектрической проницаемостью от 20 до 30 и резонатор размерами порядка  $10 \times 1 \times 0,1$  мм.

## Заключение

Рассмотрена возможность реализации МЭ СВЧ вентиля-аттенуатора на щелевой линии передачи, управляемого электрическим полем. Представлены результаты компьютерного моделирования различных конструкций МЭ СВЧ вентиляей-аттенуаторов с резонатором на основе слоистой феррит-пьезоэлектрической структуры, помещенном в щелевую линию передачи. Результаты моделирования сведены в таблицу, сделаны выводы об оптимизации структуры предлагаемого устройства.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках конкурсной части государственного задания (грант N3.1639. 2014/К).*

1. Вамберский М.В., Абрамов В.П., Казанцев В.И. Конструирование ферритовых развязывающих приборов СВЧ / Под ред. М.В.Вамберского. М.: Радио и связь, 1982. 136 с.
2. Бичурин М.И., Петров В.М., Филиппов Д.А. и др. Магнитоэлектрические материалы. М.: Академия естествознания, 2006. 296 с.

## References

1. Vamberskii M.V., Abramov V.P., Kazantsev V.I. Konstruirovaniye ferritovykh razv'yazyvayushchikh priborov SVCh [The design of ferrite decoupling microwave devices]. Moscow, "Radio i svyaz" Publ., 1982, pp. 3-4.
2. Bichurin M.I., Petrov V.M., Filippov D.A., Srinivasan G., Nan S.V. Magnitoelektricheskie materialy [Magnetolectric materials]. Moscow, "Akademiiia Estestvoznaniia" Publ., 2006. 296 p.