

**П.Ю. Белявский¹, А.А. Семенов¹, В.В. Витько¹, А.А. Никитин¹,
И.Л. Мыльников¹, С.В. Ефимов^{1,2}, Н.В. Кожусь³**

¹ ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

² ООО «АРГУС-ЭТ»

³ Санкт-Петербургский имени В. Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии

Полосно-пропускающий СВЧ фильтр с двойной электрической и магнитной перестройкой

Представлены результаты моделирования перестраиваемого полосно-пропускающего фильтра на основе ферритовой керамической подложки с сегнетоэлектрической плёнкой. Центральная частота фильтра 10 ГГц, полоса пропускания 6%, перестройка частоты при двойной перестройки 2,5 ГГц.

Ключевые слова: полосно-пропускающий фильтр, феррит, сегнетоэлектрик

В современной радиотехнике наблюдается повышение интереса к электрически управляемым устройствам. К таким устройствам относятся фазовращатели, резонаторы, фильтры и другие. Основу приборов подобного типа образуют материалы, электрофизические параметры которых – диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость, проводимость – изменяются под воздействием управляющих электрических и магнитных полей или тока.

Традиционно для создания перестраиваемых взаимных и невзаимных управляемых компонентов СВЧ устройств используются магнитно-управляемые материалы, и в наибольшей степени ферриты. «Магнитный» способ управления реализуется посредством изменения напряженности магнитного поля, в которое помещается феррит, в сравнительно широком диапазоне длин волн и скоростей электромагнитных или спиновых волн [1 -3]. Магнитный способ перестройки радиоэлектронных компонентов имеет такие недостатки, как относительно низкая скорость перестройки параметров (микросекунды), значительное энергопотребление, большие габариты магнитных систем.

«Электрический» способ управления отличается высокой скоростью (наносекунды), малыми энергетическими затратами, поскольку перестройка выполняется без протекания токов через управляющие цепи, а также малыми габаритами электрических систем [4]. В качестве управляемых сегнетоэлектрических компонентов РЭС могут применяться сосредоточенные элементы (варакторы) и распределенные структуры – линии передачи [5, 6]. Одним из недостатков управляемых структур на основе СЭП является сравнительно узкий диапазон перестройки рабочей частоты (по сравнению с магнитным способом управления) при сохранении параметров затухания электромагнитной волны.

Указанный недостаток может преодолеваться в комбинированных системах, сочетающих сегнетоэлектрические и ферромагнитные слои. Слоистая структура, состоящая из слоев сегнетоэлектрика, такого как $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ - бария-стронциевый титанат (БСТ), позволяет существенно улучшить эксплуатационные параметры приборов,

расширить их функциональность, повысить управляемость и предоставить дополнительные возможности управления фазовыми характеристиками и групповым временем задержки. [7, 8].

В основу полоснопропускающего фильтра с двойным управлением положен фильтр на основе четвертьволновых микрополосковых резонаторов. Перестраиваемость электрическим полем достигается за счет добавления в конструкцию сегнетоэлектрических конденсаторов. Емкость сегнетоэлектрических конденсаторов зависит от диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрика [9]. В соответствии со свойствами сегнетоэлектрика [10], его диэлектрическая проницаемость зависит от напряженности внешнего электрического поля, поэтому меняя величину внешнего электрического поля можно менять емкость конденсаторов, меняя тем самым резонансную частоту микрополосковых резонаторов.

На поверхности керамического феррита была выращена пленка титаната стронция SrTiO_3 , толщиной 1 мкм методом магнетронного распыления. На поверхности этой пленки были сформированы планарные конденсаторы (рис .1).

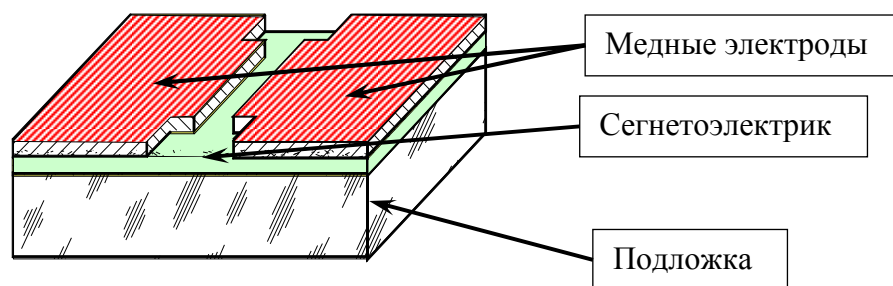


Рисунок 1.

На рисунке 2 показана вольт-фарадная характеристика такого конденсатора.

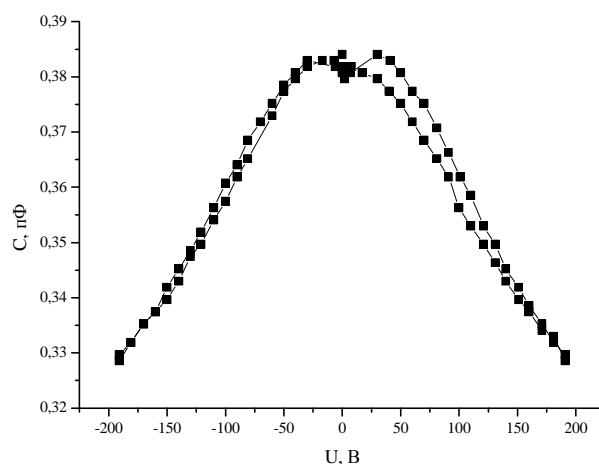


Рисунок 2.

Как видно из рис. 2, при напылении пленки сегнетоэлектрика на ферритовую керамическую подложку, сегнетоэлектрик сохраняет свои свойства. Таким образом, можно сделать вывод о возможности использования ферритовых керамических подложек

для создания на них устройств с планарными пленочными сегнетоэлектрическими конденсаторами.

Как уже было сказано ранее, в качестве базового элемента фильтра выбран четвертьволновый микрополосковый резонатор. Выбор такого элемента обусловлен простотой его конструкции.

На начальном этапе необходимо было промоделировать конструкцию фильтра без сегнетоэлектрических конденсаторов, а только на ферритовой подложке, что упрощает его конструкцию.

На рис. 3 показаны передаточные характеристики такого 3-х звенного фильтра с чебышевской аппроксимацией. Центральная частота была выбрана в 7 ГГц, ширина полосы 5%, потери в полосе 1 дБ.

Как видно из рис. 3, при приложении магнитного поля в 1500 Э перестройка

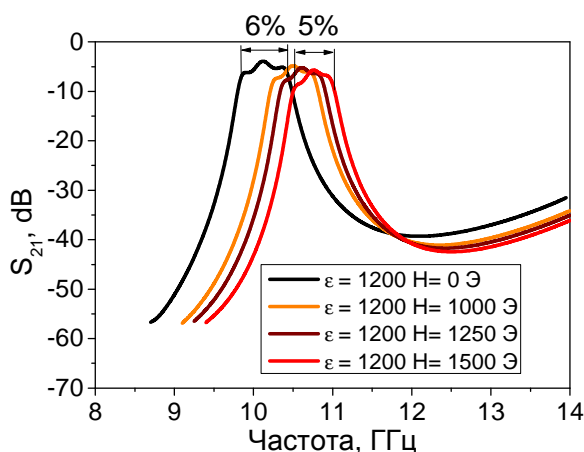


Рисунок 3.

составляет порядка 400 МГц при ширине полосы в 500 МГц, потери в полосе не более 2дБ. Таким образом можно сделать вывод о возможности создания перестраиваемого полосно-пропускающего фильтра на ферритовой керамической подложке. Однако, как уже было сказано ранее, магнитная перестройка является достаточно медленной, и для устранения данного недостатка можно использовать в конструкции фильтра быстро перестраиваемые сегнетоэлектрические элементы.

На рис. 4 изображена топология такого фильтра, в выноске – сегнетоэлектрический конденсатор.

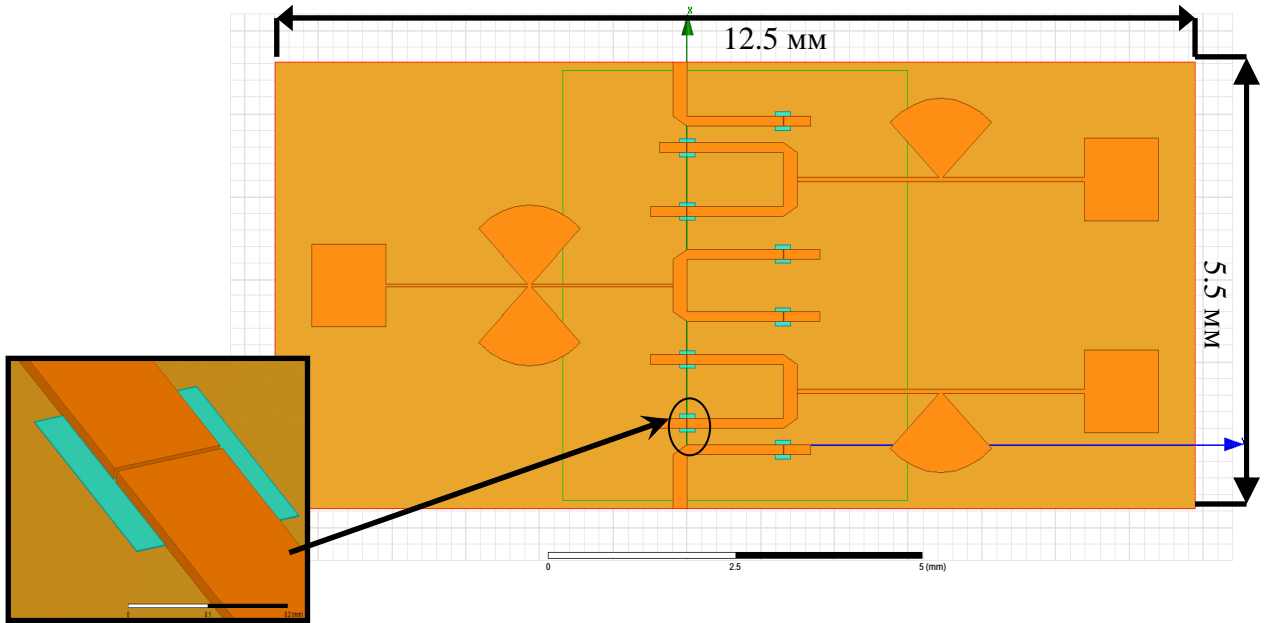


Рисунок 4.

На рис. 5 показана моделированная передаточная характеристика такого полосно-

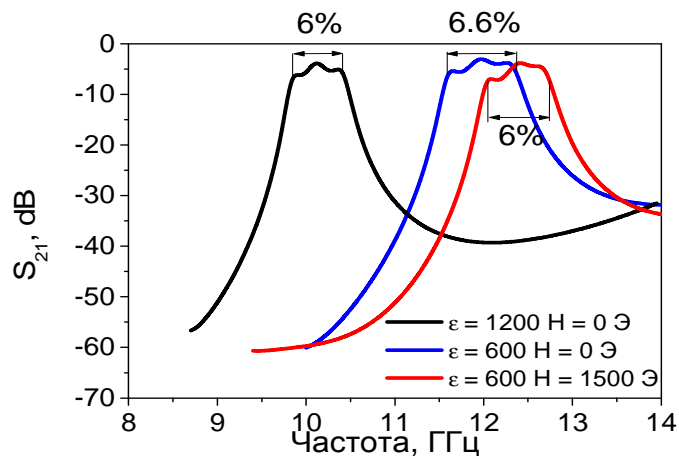


Рисунок 5.

пропускающего фильтра.

Как видно из рис. 5 перестройка полосы фильтра при электрическом управлении составляет порядка 2 ГГц при ширине полосы порядка 600 МГц, а при двойном электрическом и магнитном управлении достигает 2,5 ГГц.

Таким образом, из результатов моделирования можно сделать следующий вывод – использование ферритовых керамических подложек с напыленной на ее поверхность сегнетоэлектрической пленкой может позволить создать полосно-пропускающий фильтр с двойным магнитным и электрическим управлением с перестройкой до 3 полос.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 074-U01) и базовой части госзадания Минобрнауки РФ.

Библиографический список

1. Гуляев Ю.В. Спинволновая электроника. / Ю.В. Гуляев, П.Е. Зильберман // Серия Радиоэлектроника и связь. - М.: «Знание». - 1988. - № 6. - 24 С.
2. Вашковский А.В. Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. / А.В. Вашковский, В.С. Стальмахов, Ю.П. Шараевский. - Саратов: Изд-во СГУ, 1992. - 312 с.
3. Mironenko I.G. Principles of Applications and Properties of Ferroelectric Films at Microwaves / I.G. Mironenko // *Ferroelectrics*. – 1976. - Vol. 12. - p.421-421.
4. Аванесян В.В. Дисперсионные свойства линий передачи на основе слоистых диэлектрических структур / В.В. Аванесян, И.Г. Мироненко // *Изв.ВУЗов "Радиоэлектроника"*. – 1998. - N.1. - с.15-20.
5. Мироненко И.Г., Иванов А.А. Дисперсионные характеристики щелевой и копланарной линий на основе структур "сегнетоэлектрическая пленка-диэлектрическая подложка" / И.Г. Мироненко, А.А. Иванов // *Письма в ЖТФ*. – 2001. - Т.27. - N.12. - с. 16-21.
6. Demidov V.E. Electrical Tuning of Dispersion Characteristics of Surface Electromagnetic-Spin Waves Propagating in Ferrite–Ferroelectric Layered Structures / V.E. Demidov, B.A. Kalinikos, S.F. Karmanenko, A.A. Semenov, P. Edenhofer // *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* – 2002. - vol. 51. - p. 2090–2094.
7. Gulyaev Yu.V. Magnetoacoustic echo spectrum of a ferrite - dielectric layered structure / Yu.V. Gulyaev, Yu.F. Ogrin, N.I. Polzikova, F.Yu. Ogrin, P.W. Haycock // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 1994. - V. 157/158. – p. 482-482.
8. Яковлев Ю.М. Монокристаллы ферритов в радиоэлектронике. / Ю.М. Яковлев, С.Ш. Генделев. - М: Сов.радио, 1974. - 360 С.
9. Semenov A.A., Karmanenko S.F., Demidov V.E., Kalinikos B.A., Srinivasan G., Slavin A. N., Ferrite-ferroelectric layered structures for electrically and magnetically tunable microwave resonators, *Applied Physics Letters*, V. 88, p. 033502, 2006.
10. Сегнетоэлектрики в технике СВЧ / под ред. О.Г. Вендика.— М.: Сов. радио, 1978.— 272 с.