

Перестраиваемые резонаторы на подложке из феррошпинели

А.Э. Ланда, Л.Р. Мугу, Э.Ю. Седышев

СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Аннотация: в данной работе рассматриваются варианты создания управляемых магнитным полем резонаторов СВЧ (шлейфного и кольцевого) на ферритовой подложке.

Ключевые слова: СВЧ, резонатор, фильтры СВЧ, ферритовая подложка, феррошпинель

1. Введение

Перестраиваемые резонаторы на феррошпинелевой подложке (которые могут быть частью фильтра) позволяют создавать частотно-разделительные устройства, управляемые магнитным полем, которые могут использоваться в различных устройствах СВЧ электроники.

Ферромагнетики, или ферриты — диэлектрические материалы с магнитными свойствами, в которых скорость распространения электромагнитной волны меняется под действием магнитного поля. Это определяется тем, что от магнитного поля зависит значение относительной магнитной проницаемости такого материала. Данное свойство позволяет использовать ферриты для создания разнообразных устройств, в частности управляемых фильтров СВЧ-диапазона. Подобные фильтры существуют на сегодняшний день, но в них используется в качестве резонатора подмагниченный ферритовый сферический кристалл малых размеров, а рабочей полосой частот является область ферромагнитного резонанса. В данной работе рассматривается возможность создания, перестраиваемого микрополоскового резонатора на ферритовой подложке [1-3].

Скорость распространения электромагнитной волны в микрополосковой линии в общем случае определяется формулой:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{эфф} * \mu_{эфф}}} \quad (1)$$

Обычно магнитной проницаемостью $\mu_{эфф}$ при расчете пренебрегают, так как почти у всех диэлектриков магнитная проницаемость примерно равна 1 и, соответственно, $\mu_{эфф}$ также оказывается равна 1. Но при расчете МПЛ на ферритовой подложке магнитная проницаемость должна учитываться.

Электрическая длина резонатора может быть определена

$$\theta = \frac{l * \sqrt{\epsilon_{эфф} * \mu_{эфф}}}{\lambda}, \quad (2)$$

где l – длина шлейфного резонатора, а λ – длина волны в вакууме.

Волновое сопротивление МПЛ на феррите:

$$Z_0 = 56 * \lg \left(10.4 * \frac{h}{W} \right) * \sqrt{\frac{\mu_{эфф}}{\epsilon_{эфф}}} \quad (3)$$

Как можно видеть из приведенных формул, меняется как электрическая длина, так и волновое сопротивление. Но согласно расчетам, при сравнительно небольшом изменении магнитного поля можно заметно сдвинуть резонансную частоту шлейфа

без разрушения его АЧХ, так как волновое сопротивление меняется незначительно.

2. Экспериментальное исследование

Для проверки возможности создания перестраиваемого частотно-избирательного устройства на феррите были созданы резонаторы на шлейфах, расположенные на ферритовой подложке. Шлейфный резонатор был реализован на подложке из феррошпинели, в виде шлейфа длиной 10 мм и шириной 1,5 мм, при толщине подложки 2 мм.

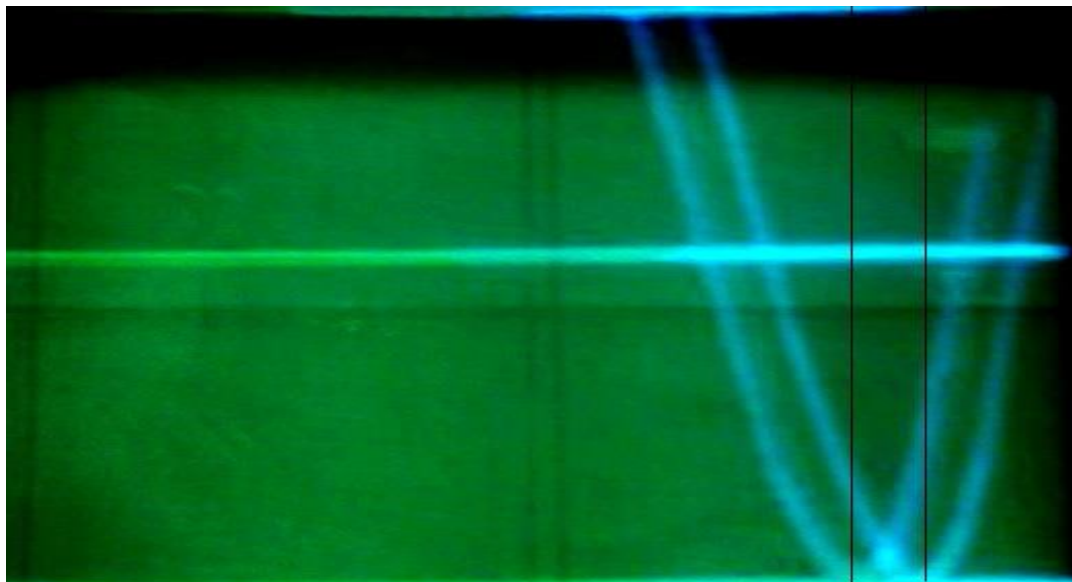


Рисунок 1. Наблюдаемое в эксперименте смещение частоты резонанса при изменении магнитного поля (3,62–3,68 ГГц)

Передаточная характеристика созданного шлейфного резонатора была исследована с помощью панорамного измерителя КСВН и ослабления в диапазоне частот от 1 до 4 ГГц. При изменении магнитного поля наблюдалось изменение резонансной частоты АЧХ резонатора (рис. 1) на 60 МГц.

Следующим этапом стало исследование кольцевого резонатора, созданного на МПЛ на феррошпинелевой подложке [4-6]. Резонатор представлял собой шлейф длиной 60 мм и шириной 4 мм, а также кольцо со внешним диаметром 34 мм, и внутренним диаметром 30 мм. Компьютерная модель кольцевого резонатора на феррите представлена на рисунке 2, сам исследуемый резонатор показан на рисунке 3.

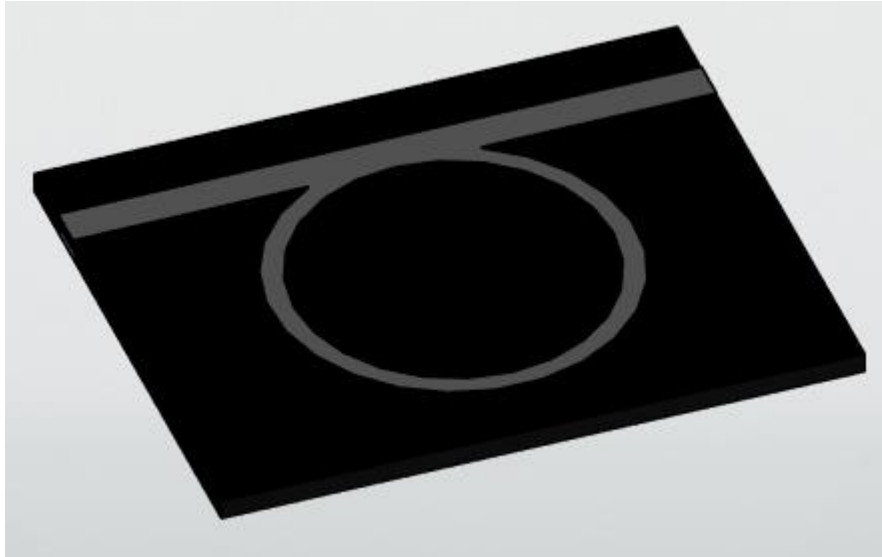


Рисунок 2. Компьютерная модель кольцевого резонатора на феррите.

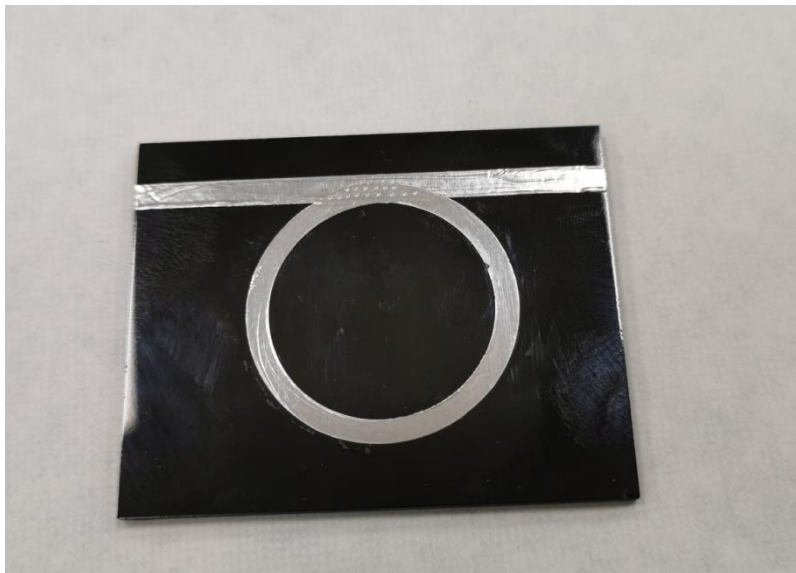


Рисунок 1. Кольцевой резонатор на микрополосковой линии на феррошпинелевой подложке

Исследование передаточной характеристики кольцевого резонатора показало, что изменение магнитного поля приводит к сдвигу по частоте резонансных пиков элемента. (рис 5). На рисунке 4 показана установка, на которой проводилось исследование.



Рисунок 2. Установка, на которой проводилось исследование кольцевого резонатора на феррите



Рисунок 3. Изменения АЧХ кольцевого резонатора на феррите под действием магнитного поля

3. Заключение

Таким образом, исследование показало возможность создания перестраиваемых резонаторов в МПЛ исполнении на ферритовой подложке.

Список литературы

1. Fuller A. J. B. Ferrites at microwave frequencies. – ИЕТ, 1987. – № 23.
2. Riches E. E. Ferrites; a Review of Materials and Applications. – Mills & Boon, 1972.
3. Ланда А. Э., Мугу Л. Р. Полосковый резонатор СВЧ диапазона с использованием ферритовых вставок //74-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна – 2020»: сб. науч. ст. / Под ред. А. В. Шестакова; сост. В. С. Елагин, Е. А. Аникевич, Задорожная А. А. Спец. вып. СПб.:СПбГУТ, 2020. 103 с.
4. Сазonenко Н.Ю., Седышев Э.Ю. Генератор на кольцевом резонаторе в микрополосковом исполнении. В сборнике: Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2020). IX Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей. Санкт-Петербург, 2020. С. 509-513
5. Сазonenко Н.Ю., Седышев Э.Ю. Устройства частотной селекции на основе кольцевого эллиптического резонатора на микрополосковой линии. Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2019. Т. 1. № 1. С. 409-41
6. Кондрашова М.А., Сазonenко Н.Ю., Селиверстов Л.А., Улитина А.С., Седышев Э.Ю. Частотноселективные устройства на кольцевых эллиптических резонаторах. Проектирование и технология электронных средств. 2019. № 2. С. 13-19.