

## РЕЖЕКТОРНЫЙ ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ ИНВЕРТИРОВАННОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Селективные устройства широко используются в системах радиосвязи, в телевидении, в системах радиолокации и навигации и ряде других. В зависимости от функциональных задач и используемых базовых линий передачи конструкции фильтров видоизменяются и, соответственно, реализуются определенные параметры.

Одним из важных классов частотно-селективных устройств являются полосно-заграждающие фильтры или режекторные фильтры (РФ). Из наиболее распространенных конструкций РФ, используемых в высокочастотной части сантиметрового диапазона и в миллиметровом диапазоне, можно указать конструкции РФ на микрополосковых линиях и диэлектрических волноводах прямоугольного поперечного сечения. [1 – 3]. В работе [1] описывается режекторный фильтр на микрополосковой линии со шлейфами. Фильтр на микрополосковой линии с разрывами и дополнительными четвертьволновыми проводниками, расположенными перпендикулярно к основной линии на дополнительной диэлектрической подложке, описан в работе [2]. Фильтр на диэлектрических волноводах представлен в работе [3]. В КВЧ диапазоне обеспечение заданных параметров усложняется техническими допусками на изготовление отдельных элементов РФ, поэтому переходят на альтернативные линии передачи [4, 5].

Например, в работе [4] описывается фильтр в виде секций параллельно связанных диэлектрических волноводов, при этом длина секций и расстояние между волноводами определяют полосу селекции и уровень потерь. В работе [5] представлен РФ на изолированном диэлектрическом волноводе.

Общим недостатком этих конструкций является отсутствие элементов подстройки.

Применение инвертированного полоскового диэлектрического волновода (ИПДВМ) открывает новые возможности реализации РФ [6]. В данной работе описывается один из вариантов РФ на ИПДВМ.

### Конструкция фильтра и его характеристики

Конструкция рассматриваемого фильтра изображена на рис. 1. Основу конструкции

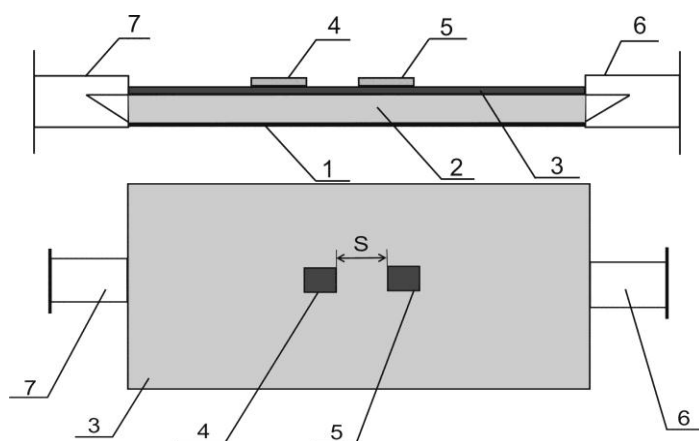


Рис. 1

составляет заземленное основание – 1, на котором расположен диэлектрический стержень прямоугольного поперечного сечения – 2. Концы этого стержня имеют скосы, выполненные под углом Брюстера, и они вводятся во внешние волноводы – 6, 7. На диэлектрический стержень устанавливается диэлектрическая подложка – 3. Совокупность элементов: заземленное основание, диэлектрический стержень и диэлектрическая подложка образуют инвертированный диэлектрический волновод. Такой волновод обладает рядом интересных свойств, связанных с особенностями распространения электромагнитных волн и распределением энергии между элементами конструкции [7]. На поверхности диэлектрической подложки располагаются диэлектрические

составляет заземленное основание – 1, на котором расположен диэлектрический стержень прямоугольного поперечного сечения – 2. Концы этого стержня имеют скосы, выполненные под углом Брюстера, и они вводятся во внешние волноводы – 6, 7. На диэлектрический стержень устанавливается диэлектрическая подложка – 3. Совокупность элементов: заземленное основание, диэлектрический стержень и диэлектрическая подложка образуют инвертированный диэлектрический волновод. Такой волновод обладает рядом интересных свойств, связанных с особенностями распространения электромагнитных волн и распределением энергии между элементами конструкции [7]. На поверхности диэлектрической подложки располагаются диэлектрические

накладки – 4, 5, расположенные соосно на расстоянии  $s$  и представляющие собой параллелепипеды заданных размеров. Диэлектрическая проницаемость материала накладок выбирается с учетом соотношения диэлектрических проницаемостей волноведущего стержня и диэлектрической подложки. Ширина накладок выбирается из условия, чтобы она не превышала ширину волноведущего стержня, а их длина должна быть кратной  $\lambda_g/2$ , где  $\lambda_g$  – длина волны в ИПДВМ.

Физический механизм возникновения режекции полосы частот таков. Введение в область распространения электромагнитной волны дополнительных неоднородностей в виде диэлектрических параллелепипедов (накладок) с относительно большим значением относительной диэлектрической проницаемости на определенном расстоянии одна от другой и перпендикулярных продольной оси стержня приводит к возникновению поверхностных волн. Вследствие этого, при выполнении определенных соотношений между геометрическими размерами элементов, значениями материальных констант и частотным параметром возникает резонансное поглощение на определенных частотах, что и обуславливает возникновение полос режекции.

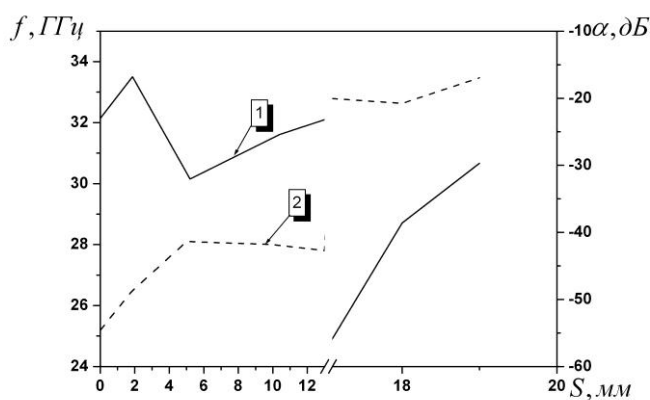


Рис.2

вая 2) и величин затухания (кривая 1) на этих же частотах при изменении параметра  $S$ . Анализ приведенных зависимостей свидетельствует о том, что величина вариации расстояния между накладками играет существенную роль в возникновении дополнительной полосы режекции (при  $S > \lambda$ ). Максимальный диапазон, в пределах которого возможно смещение накладок без возникновения второй полосы режекции, колеблется от 0,73 до 1,04  $\lambda_0/S$ .

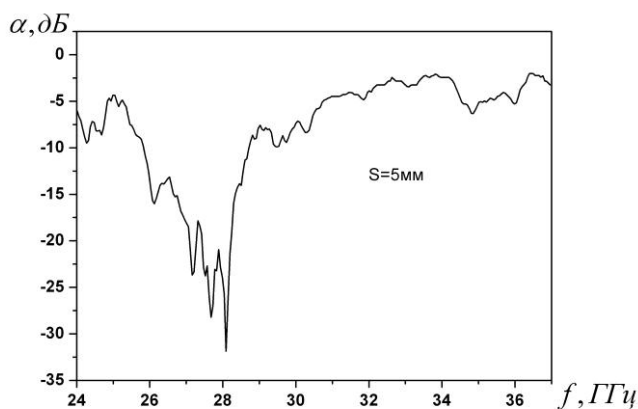


Рис. 3

В качестве образца был реализован и испытан макет РФ со следующими параметрами: диэлектрический стержень имел размеры 6.8x3 мм, выполненный из полистирола с  $\epsilon=2.5$ , диэлектрическая подложка – ситалл СТ32-1 с размерами 68x48x1 мм и диэлектрическими накладками – ситалл СТ32-1 с размерами 6.8x6.0x1 мм.

Результаты экспериментальных исследований макета РФ приведены на рис. 2, где приведены зависимости значений центральных полос режекции (кривая 2) и величин затухания (кривая 1) на этих же частотах при изменении параметра  $S$ .

Анализ приведенных зависимостей свидетельствует о том, что величина вариации расстояния между накладками играет существенную роль в возникновении дополнительной полосы режекции (при  $S > \lambda$ ). Максимальный диапазон, в пределах которого возможно смещение накладок без возникновения второй полосы режекции, колеблется от 0,73 до 1,04  $\lambda_0/S$ .

На рис. 3 приведена кривая зависимости величины затухания в диапазоне частот. Смещение накладок друг относительно друга выбрано равным  $S = 5$  мм, что соответствует максимальной величине затухания (рис. 2). В зависимости от величины  $S$  перестройка по частоте в пределах 10 % приводит к изменению величины затухания в интервале 16 – 30 дБ. Увеличение параметра  $S$  приводит к возникновению еще одной полосы режекции, но в более высокочастотной части диапазона. Здесь может быть достигнут более высокий уровень режекции, но в более узкой полосе частот.

Общим недостатком такого технического решения является достаточно резкий характер зависимостей уровня затухания от частоты и величины смещения накладок друг относительно друга. Такой характер зависимостей обусловлен механизмом взаимодействия распространяющейся в ИПДВМ волной, возбужденной поверхностной волной и диэлектрическими неоднородностями. У собственной распространяющейся волны ИПДВМ и у поверхностной волны наблюдается достаточно большая разница в величинах  $\lambda_0$ , что обуславливает различный характер взаимодействия с диэлектрической неоднородностью. В более высокочастотной области наблюдается более слабая зависимость центральных частот полосы режекции от местоположения взаимодействующих неоднородностей, что обусловлено более сильным проявлением эффекта «втягивания» электромагнитного поля в диэлектрик с ростом частоты.

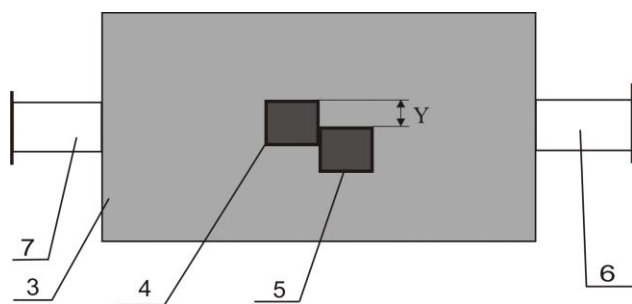


Рис. 4

В качестве одного из возможных вариантов смягчения влияния этих факторов предлагается использовать техническое решение, суть которого отображена на рис. 4. При этом предполагается, что диэлектрические накладки соприкасаются одной из поверхностей и перемещаются друг относительно друга и продольной оси волноводящего диэлектрического стержня ИПДВМ. Обозначения элементов, приведенных на рис. 4, соответствуют аналогичным, которые приведены на рис. 1. У такого технического

решения есть существенное конструктивное техническое преимущество по сравнению с рассмотренным выше: оно оказывается более компактным за счет расположения накладок непосредственно друг относительно друга. Кроме того, еще одним преимуществом является тот факт, что нет необходимости учитывать фактор взаимной связи между неоднородностями (накладками), а за счет дополнительной подстройки с внешним трактом можно реализовать условия нахождения обеих неоднородностей (накладок) в одном полупериоде поверхностной волны (ввиду существенной разницы продольного размера накладки и длины поверхностной волны).

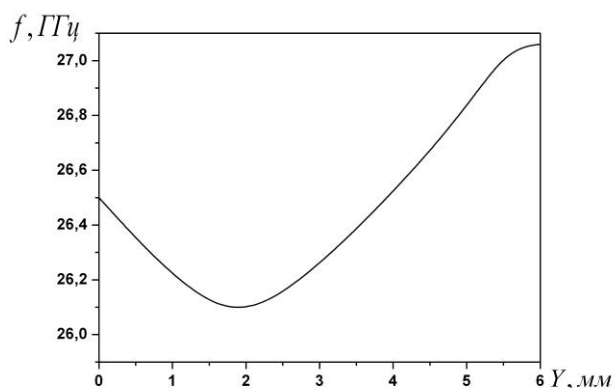


Рис. 5

На рис. 5 представлена типичная зависимость центральных частот режекции от относительного сдвига накладок (параметр  $Y$ ). Анализ зависимости свидетельствует о достаточно слабой зависимости величин центральных частот от взаимного расположения накладок. Так, смещение центров накладок на 4 мм (что сопоставимо с  $\approx 0,4 \lambda_0$ ) приводит к изменению центральной частоты всего на 1,5%. Смещение продольных осей накладок на величины больших, чем 6 мм, не является целесообразным, поскольку такое расположение неоднородностей

достаточно сильно нарушает симметрию структуры поля основной волны ИПДВМ (это волна  $E_{11}^y$ ), приводит к «втягиванию» поля из диэлектрической подложки и, как следствие, к появлению паразитного излучения, что неизбежно ухудшает уровень параметров устройства.

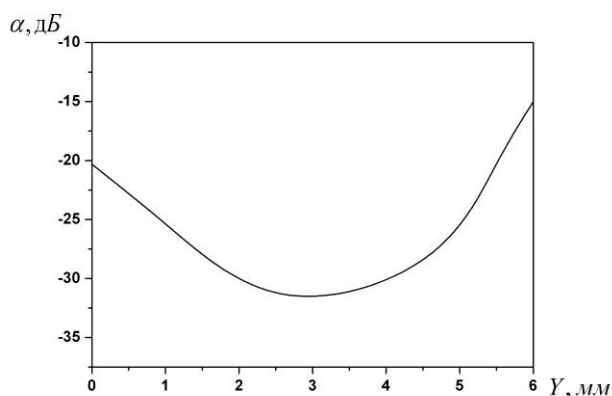


Рис. 6

Рис. 6 демонстрирует зависимость величины затухания РФ от величины смещения накладок друг относительно друга.

Совершенно очевидно, что практически во всем приемлемом диапазоне значений местоположения накладок может быть получен уровень режекции в интервале значений 25 – 30 дБ. Обе зависимости (рис. 5, 6) демонстрируют возможность плавной перестройки центральной частоты режекции и уровня режекции, что является одним из ключевых требований при создании многофункциональных устройств КВЧ диапазона.

Необходимо отметить и достаточную простоту настройки РФ, суть которой состоит в том, что фиксированном положении одной из накладок находится положение второй, которое обеспечивает заданный уровень характеристик.

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о том, что использование альтернативных линий передачи, например ИПДВМ, позволяет создать селективные устройства КВЧ диапазона, сравнимые по уровню интегральных характеристик с устройствами, выполненными на прямоугольных волноводах и других линиях передачи КВЧ диапазона.

**Список литературы:** 1. Wood, C.D., Cunningham, J.E., Davies. A. G., Hunter, I.C. Patent No. : WO/2006/064192 Band stop filter. Date of patent : Jun. 22. 2006. 2. Yoshihiro, K., Kenichi, K. Patent No. US Patent, 4,757,286 Microwave filter device. Date of patent : Jul. 12. 1988. 3. Jackson, L.A. Patent No. : US Patent, 3,896,402 Dielectric waveguide filter. Date of patent : Jul. 22. 1975. 4. Погарский, С.А., Сапрыкин, И.И., Глагольев, Б.С. А. с. 1807535 (СССР). Режекторный фильтр. Оpubл. в Б.И., 1993. – №13. 5. Инвертированный полосковый диэлектрический волновод с металлической плоскостью / В.А. Катрич, Д.В. Майборода, С.А. Погарский, С.В. Пшеничная, И.И. Сапрыкин, В.Н. Сухов // 19-я Международная Крымская конф. "СВЧ-техника и спутниковые телекоммуникационные технологии" (КрыМико'2009) : материалы конф. (Севастополь, 14 – 18 сент. 2009 г.). Севастополь : Вебер, 2009. – С. 515-516. 6. Mayboroda, D.V., Pogarsky, S.A., Saprykin, I.I. The bounded periodically slotted microstrip structures as a radiating module // Journal of Telecommunications and Radio Engineering. – 2013. – Vol. 72, № 15. – P. 1381 – 1390. 7. Майборода, Д.В., Погарский, С.О., Сапрыкин, И.И. Патент на корисну модель №51626 Режекторний фільтр. 26.07.2010. Бюл. №14. 8. Майборода, Д.В., Погарский, С.О., Сапрыкин, И.И. Патент на корисну модель. Режекторний фільтр. №68366. 26.03.2012. Бюл. №6.

Харьковский национальный  
университет имени В.Н. Каразина

Поступила в редколлегию 02.09.2014