

Сверхширокополосная фильтрующая антенна для S-диапазона

Д. М. Альжанов, С. А. Шевченко

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

dmalzhanov@stud.etu.ru

Аннотация. В статье представлены результаты расчета основных характеристик сверхширокополосной антенны S-диапазона. Результаты демонстрируют полосу пропускания 38% при $|S_{11}| > 10$ дБ. Диаграмма направленности стремится к всенаправленной при максимальном значении коэффициента усиления 4,6 дБи. Размеры конструкции составило 120 x 40 мм, что обуславливает перспективу применения разработанной конструкции в составе устройств связи, дальнометрии и других областях, где требуется прием сигналов в широкой полосе частот.

Ключевые слова: СШП сигналы, фильтрующая антенна, широкополосная антенна

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие современных беспроводных технологий, таких как спутниковая связь, радиолокация и системы передачи данных, требует создания компактных и высокоэффективных антенных устройств, способных работать в широком диапазоне частот. Особое внимание уделяется S-диапазону (2–4 ГГц), который активно используется в различных приложениях благодаря своей универсальности и относительно низкому уровню затухания сигнала. Одним из перспективных решений для таких систем является разработка широкополосных фильтрующих антенн, которые интегрируют в себе функции излучения и фильтрации, что позволяет сократить количество компонентов на плате и избежать необходимости согласования отдельных компонентов между собой.

Интерес к сверхширокополосным (СШП) технологиям связи обусловлен высокой скоростью передачи данных, повышенной помехоустойчивостью и улучшенной электромагнитной совместимостью в силу малых мощностей. СШП-технологии находят применение в радиолокации, беспроводных сенсорных сетях и системах связи, где требуется высокая точность позиционирования и надежность передачи информации. Применение СШП-сигналов, однако, предъявляет дополнительные требования к антенно-фидерным устройствам, в частности необходима широкая (более 25%) рабочая полоса пропускания, низкий уровень искажений.

В настоящей работе приведены результаты расчета сверхширокополосной фильтрующей антенны S-диапазона, в которой для формирования сигнала используется фильтр на основе связанных линий. Этот фильтр обеспечивает хорошую частотную избирательность и подавление помех вне рабочей полосы частот, что особенно важно в условиях высокой плотности электромагнитного спектра. В частности, предлагается монополярная антенна, выполненная в виде

микрополосковой линии длиной $\lambda/2$, которая нагружена на фильтр. Такое решение позволяет не только упростить конструкцию, но и обеспечить улучшенное согласование импедансов, что способствует повышению эффективности работы антенны в широкой полосе частот.

II. ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР НА СВЯЗНЫХ ЛИНИЯХ

В качестве фильтра-прототипа использовался фильтр Чебышева 1-го порядка. На основе полученных коэффициентов был синтезирован фильтр на связанных линиях с центральной частотой полосы пропускания 3 ГГц и относительной шириной полосы пропускания 34 %.

Фильтр состоит из пяти резонаторов с боковой связью (рис. 1). В расчете в качестве материала подложки закладывался FR4 со следующими параметрами: $\epsilon_r = 4.5$, $\text{tg}\delta = 0.015$, высота подложки $h = 1.5$ мм, толщина металлизации $t = 18$ мкм. Данный фильтр был изготовлен (рис. 2) и его характеристики измерены с помощью ВАЦ R&S ZVB8 после полной двухпортовой SOLT-калибровки для исключения систематической ошибки в измерениях. Коэффициент отражения в полосе пропускания $|S_{ii}| > 19$ дБ, у экспериментальной модели $|S_{ii}| > 10.5$ дБ. На рис. 3 представлено сравнение амплитудно-частотных характеристик расчетной модели фильтра и изготовленного образца.

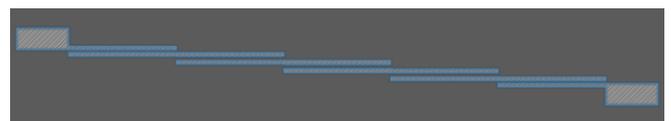


Рис. 1. Топология полосно-пропускающего фильтра

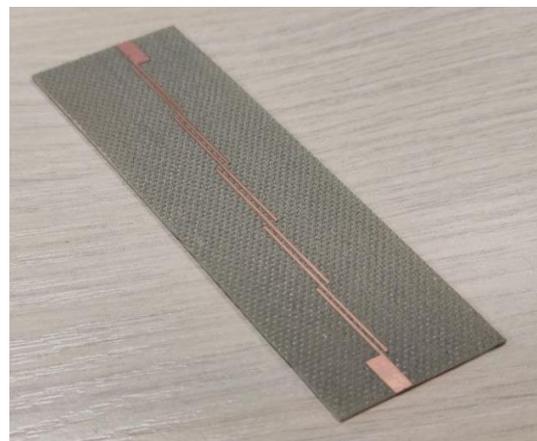


Рис. 2. Изготовленная модель фильтра

Полоса пропускания составила 33.3 %. Более высокие, чем в модели, потери в полосе пропускания у экспериментального образца обусловлены более высоким значением $\text{tg}\delta$ в реальной подложке, чем закладывалось в расчетах.

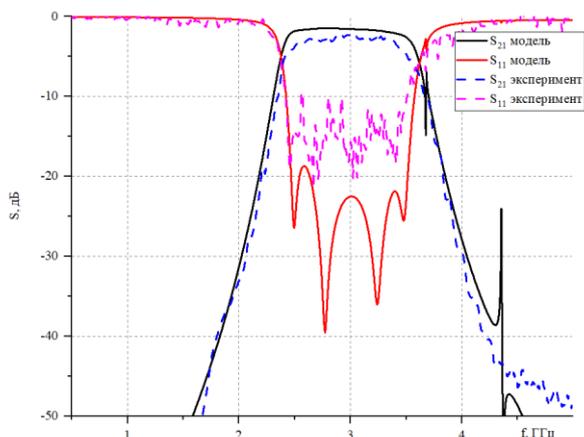


Рис. 3. АЧХ фильтра

С целью экспресс-оценки импульсной характеристики (ИХ) изготовленного фильтра к комплексной передаточной характеристике $S_{ij}(f)$ было применено дискретное обратное преобразование Фурье. Экспериментальное измерение ИХ фильтра проводилось с помощью широкополосного осциллографа Tektronix DSA8300. Сравнение результатов экспресс-оценки, расчета во временной области и экспериментального измерения приведено на рис. 4.

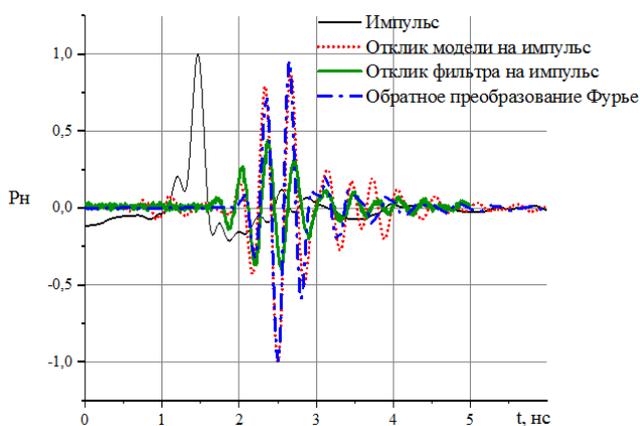


Рис. 4. Временная характеристика

По рис. 4 можем сделать вывод о том, что для первичной оценки фильтра во временной области можно использовать обратное дискретное преобразование Фурье.

III. ФИЛЬТРУЮЩАЯ АНТЕННА

В работе [1] представлена фильтрующая антенна, использующая антенну, как последний резонатор фильтра, благодаря этому практически не изменяется размер фильтрующей антенны. Так же согласование между фильтром и антенной выполнено при помощи инвертора. Данная фильтрующая антенна имеет полосу пропускания 14 % с центральной полосой пропускания 2,45 ГГц, $|S_{11}| > 20$ дБ в полосе пропускания, но для СШП сигналов полоса пропускания слишком мала. По этой

причине было принято решение взять за основу фильтр на связанных линиях с боковой связью (рис. 2) и заменить последний резонатор на излучающую антенну.

В качестве излучателя для разработанной конструкции использовалась планарная монополярная антенна, которая была нагружена на разработанный фильтр. Выбор монополярной антенны обусловлен большой полосой пропускания, простотой конструкции и диаграммой направленности, близкой к всенаправленной.

На рис. 5 представлена конструкция разработанной антенны. В трехмерную модель была также включена модель SMA-коннектора из библиотеки Dassault Systems [ссылка].

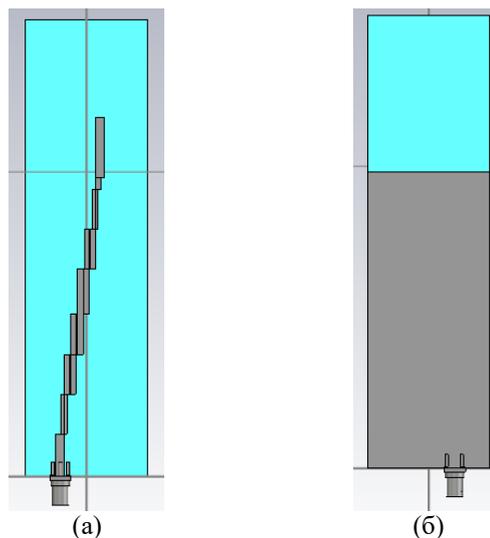


Рис. 5. Фильтрующая антенна (а) вид сверху, (б) вид снизу

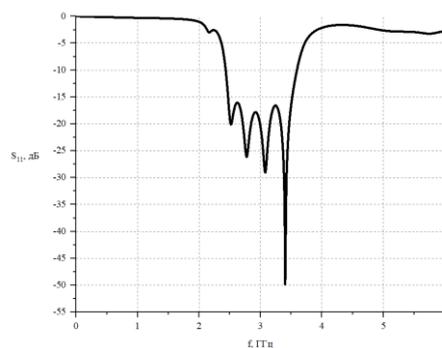


Рис. 6. S_{11} фильтрующей антенны

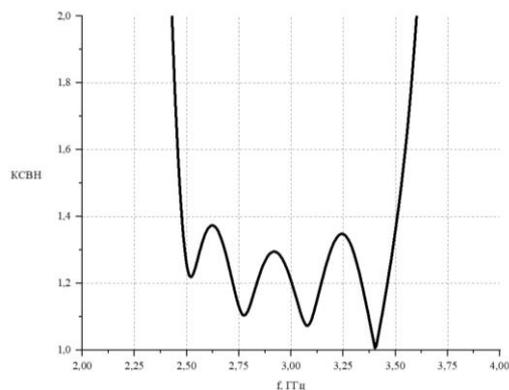


Рис. 7. КСВН фильтрующей антенны

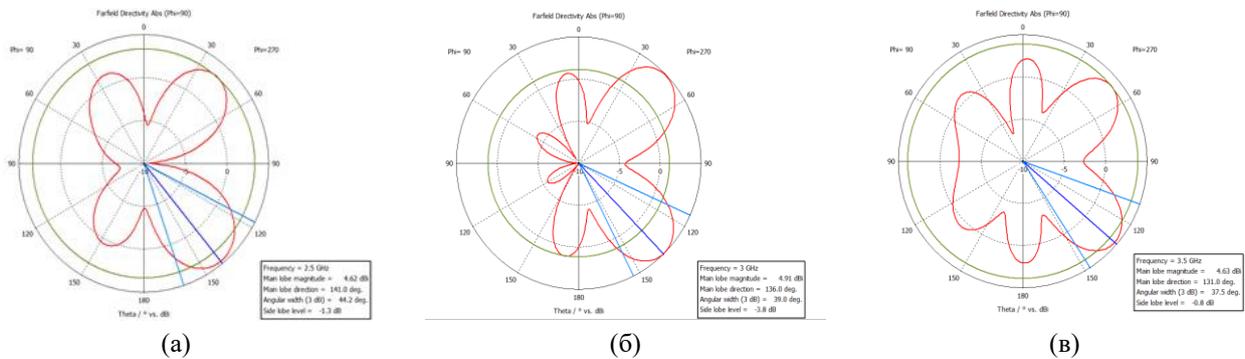


Рис. 8. Диаграмма направленности на различных частотах (а) – 2,5 ГГц, (б) – 3 ГГц, (в) – 3,5 ГГц

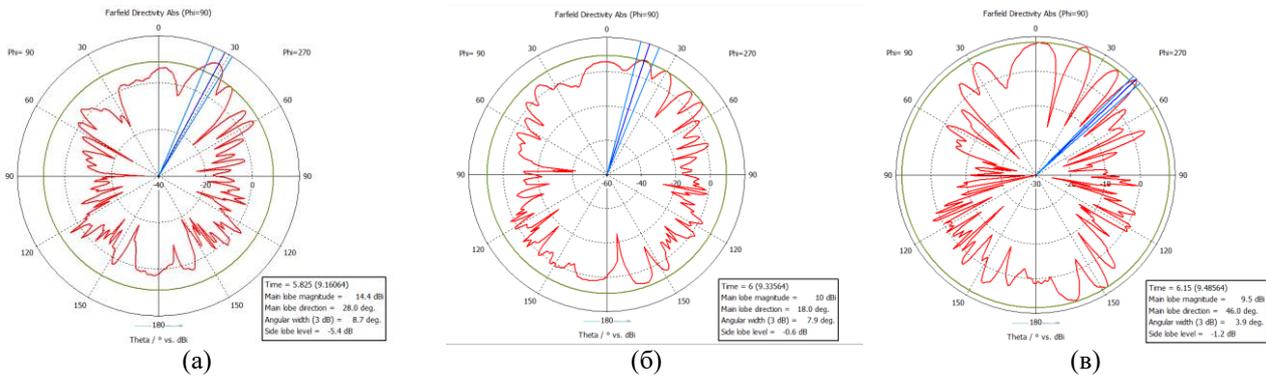


Рис. 9. Диаграмма направленности при подаче на фильтрующую антенну импульс (а) – 5,825 нс, (б) – 6 нс, (в) – 6,15 нс

Как видно из рис. 6 данная конструкция имеет 38 % полосу пропускания с центральной частотой 3 ГГц, $|S_{11}| > 15$ dB во всей полосе пропускания. Частотная зависимость КСВН представлена на рис. 8, откуда видно, что данный параметр не превышает 1,4.

На рис. 8 представлены диаграммы направленности на частотах 2.5 ГГц, 3 ГГц, 3.5 ГГц, при этом максимальное усиление составило 4.9 дБи.

Так как на фильтрующую антенну будет поступать импульсный сигнал стоит изучать диаграмму направленности при подаче на нее импульса. На рис. 9 представлены диаграммы направленности в различные моменты времени. Как можно заметить по рис. 8, 9 диаграммы направленности заметно отличаются. При подаче импульса на фильтрующую антенну получаем усиление в разы больше чем при стационарном режиме.

В ходе работы была также построена временная зависимость при подаче импульса на фильтрующую антенну (рис. 10).

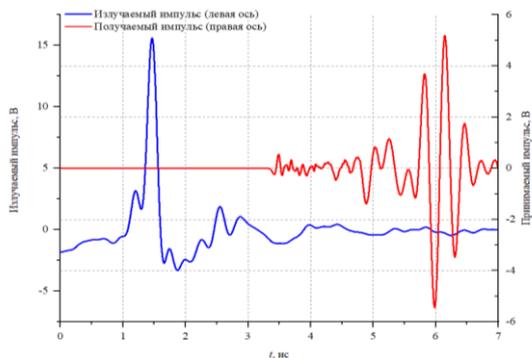


Рис. 10. Временная зависимость напряжения (правая ось – подаваемый импульс, левая ось – принимаемый импульс)

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье представлены результаты расчета широкополосной фильтрующей антенны S-диапазона. Основное внимание уделено разработке полосно-пропускающего фильтра на основе связанных линий. Использование монопольной антенны в качестве последнего резонатора фильтра позволило упростить конструкцию и улучшить согласование импедансов, что способствовало повышению коэффициента отражения в полосе пропускания.

Результаты моделирования антенны показали, что предложенная конструкция имеет малый КСВН, но импульсная диаграмма направленности отличается от стационарной диаграммы направленности. Полоса пропускания антенны составила 38 %, что делает её пригодной для использования в устройствах СШП-связи, радиолокации и других приложениях.

Кроме того, была проведена оценка временных характеристик фильтрующей антенны, что особенно важно для работы со сверхширокополосными (СШП) сигналами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Wei-Jun Wu, Ying-Zeng Yin, Shao-Li Zuo, Zhi-Ya Zhang, and Jiao-Jiao Xie A New Compact Filter-Antenna for Modern Wireless Communication Systems / Wei-Jun Wu, Ying-Zeng Yin, Shao-Li Zuo, Zhi-Ya Zhang, and Jiao-Jiao Xie // IEEE ANTENNASANDWIRELESSPROPAGATIONLETTERS. 2011. № 10. С. 1131-11.
- [2] Кардо-Сысоев А.Ф., Французов А.Д., Флеров А.Н. Явление сверхусиления направленного действия антенны при излучении сверхширокополосных короткоимпульсных сигналов // Известия вузов России. 2009. № 2. С. 3-11.