

Сверхширокополосная фильтрующая антенна S-диапазона

Альжанов Д.М., Шевченко С.А.

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 $S_{11} < -15$ дБ. Диаграмма направленности стремится к всенаправленной при максимальном значении коэффициента усиления 4,5 дБи. Размеры конструкции составили 120х40 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 отрезка

микрополосковой линии с электрической длиной $3\lambda/4$. Выбранная длина излучающего микрополоска обеспечивает работу на высших модах, что приводит к увеличению полосы пропускания, тогда как сама антенна обеспечивает диаграмму направленности (ДН), близкую к круговой.

II. ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЙ ФИЛЬТР НА СВЯЗНЫХ ЛИНИЯХ

В качестве фильтра-прототипа использовался фильтр Чебышева 1-го рода. 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: $\epsilon_r = 4.5$, $\tan\delta = 0.015$, толщина подложки $h = 1.5$ мм, толщина металлизации $t = 18$ мкм. В данной конструкции используются резонаторы разных длин ($l = 26.1...26.6$ мм), зазоры между резонаторами изменяются в диапазоне $\delta = 0.11...0.21$ мм. 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 $S_{11} < -19$ дБ, у экспериментального образца $S_{11} < -10.5$ дБ. На рис. 3 представлено сравнение амплитудно-частотных характеристик расчетной модели фильтра и изготовленного образца.

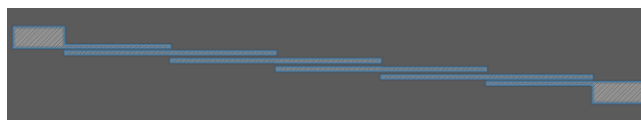


Рис. 1. Топология полосно-пропускающего фильтра

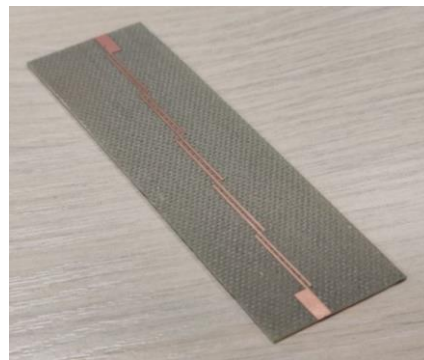


Рис. 2. Изготовленный экспериментальный образец фильтра

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

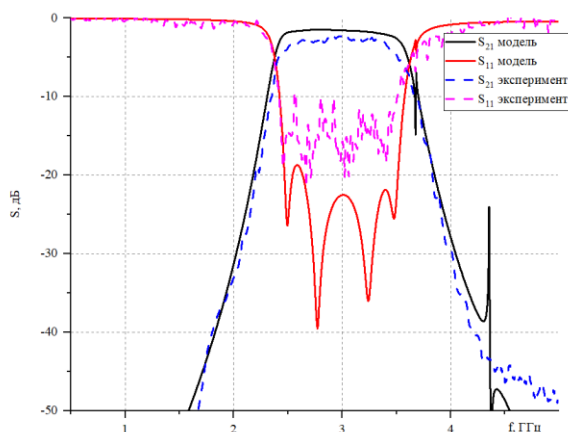


Рис. 3. АЧХ фильтра

С целью экспресс-оценки импульсной характеристики (ИХ) изготовленного фильтра к комплексной передаточной характеристике $S_{21}(f)$ 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.

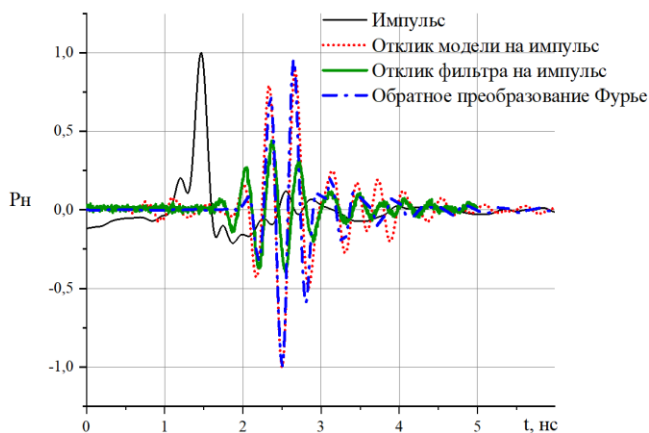


Рис. 4. Временное представление сигналов

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. Также 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.

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

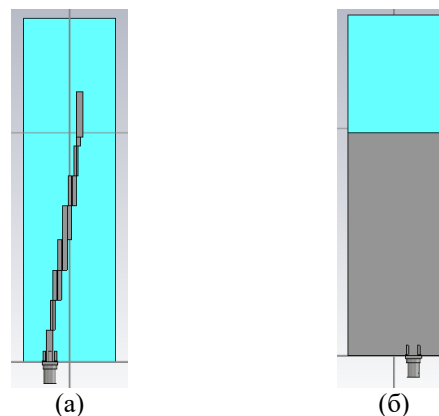


Рис. 5. Фильтрующая антенна (а) вид сверху, (б) вид снизу

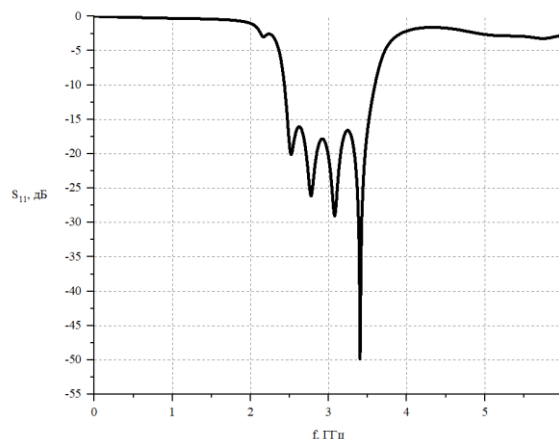


Рис. 6. S_{11} фильтрующей антенны

Как видно из рис. 6, полоса пропускания данной конструкции составила 38 % при $S_{11} < -15$ дБ в полосе пропускания.

Также был проведен расчет во временной области единой модели, включающей в себя передающую и приемную антенны на расстоянии 10λ , что эквивалентно приему излученного сигнала в дальней зоне. По условиям расчета передающая антенна возбуждалась негармоническим сигналом, близким по своей форме к идеальному колоколообразному импульсу с длительностью переднего фронта 120 пс и длительностью на полувывоте 160 пс. По данным рис. 7 видно, что временное представление сигнала на приемной антенне близко по форме к импульсной характеристике фильтра, приведенной на рис. 4.

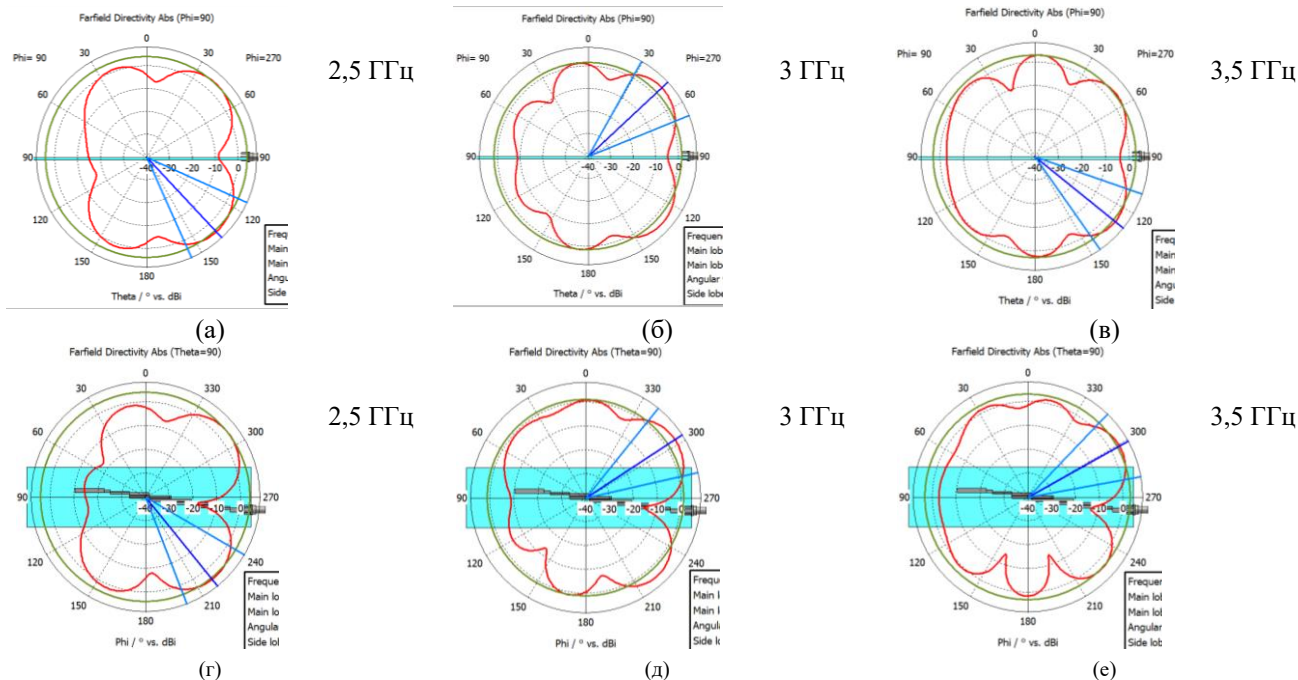


Рис. 8. Диаграммы направленности на различных частотах 2,5, 3 и 3,5 ГГц в азимутальной (а-в) и угломерной (г-е) плоскостях

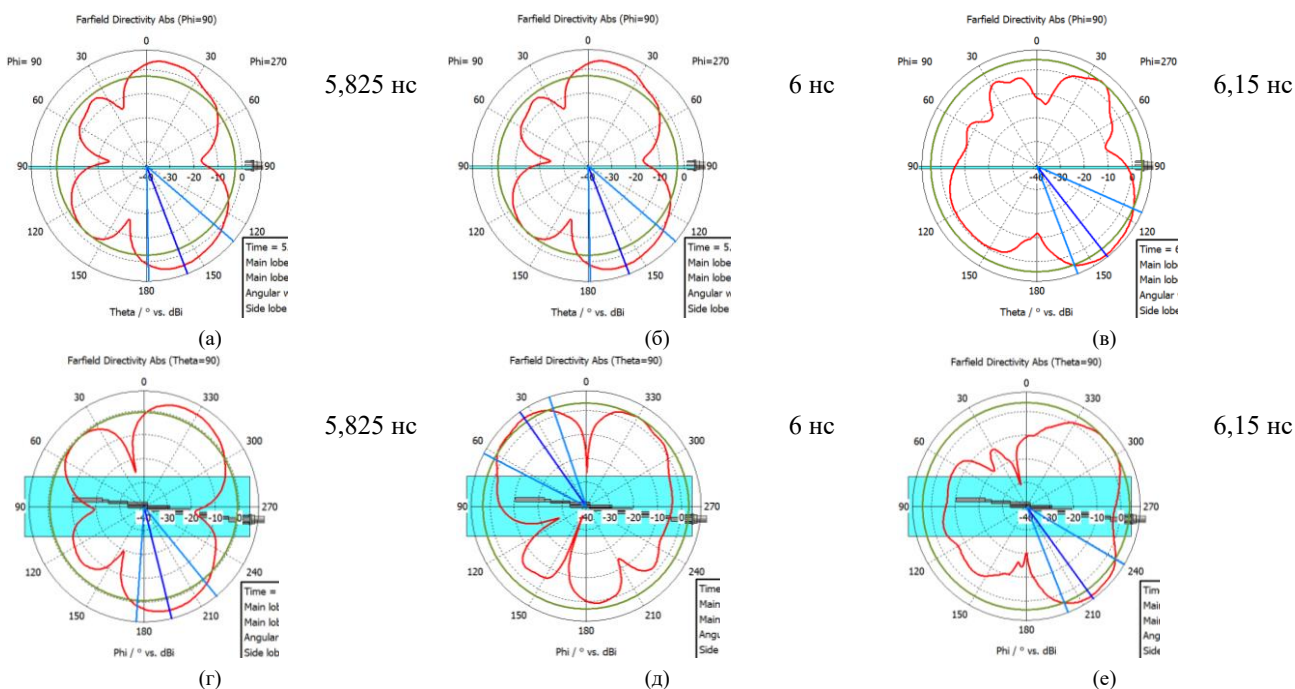


Рис. 9. Энергетические диаграммы направленности в различные моменты времени в азимутальной (а-г) и угломерной (г-е) плоскостях

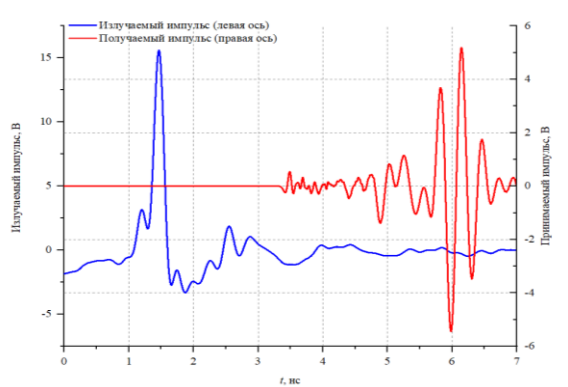


Рис. 7. Временная зависимость напряжения (правая ось – подаваемый импульс, левая ось – принимаемый импульс)

Особый интерес для излучения негармонических сигналов представляют энергетические диаграммы направленности соответствующих антенн [2]. На рис. 8–9 приведены ДН разработанной конструкции передающей антенны в стационарном моночастотном режиме, а также энергетические ДН в процессе излучения этой же антенной реакции на импульсное воздействие. По приведенным данным видно заметное различие между формами ДН. Излучение импульса, кроме того, сопровождалось увеличением максимального значения коэффициента усиления антенны с 4,5 дБи до 8 дБи.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 получить диаграмму направленности, близкую к круговой, при относительной ширине рабочей полосы частот 38 % и $S_{11} < -10$ дБ в рабочей полосе частот.

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 // IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters. 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.