

Анализ процессов излучения и приема в СКИ СШП радиолокаторе

В статье описаны результаты моделирования СКИ СШП радиолокатора во временной области. Обсуждаются физические процессы в антенне при подаче гауссовского импульса. Даются рекомендации по построению антенн для СКИ СШП радиолокатора.

Ключевые слова: Сверхкороткоимпульсные сверхширокополосные (СКИ СШП) системы, гауссовский импульс, помехоустойчивость радиолокатора.

Традиционная радиолокация основана на излучении и приеме радиосигналов с импульсной модуляцией. Созданы радиолокаторы различного диапазона длин волн, в том числе с внутриимпульсной частотной, фазовой и кодовой манипуляцией. Одновременно разработаны эффективные средства подавления сигналов таких радиолокаторов. Поэтому задача обеспечения помехозащищенности и скрытности радиолокационных средств имеет большое значение. Одним из способов ее решения является создание радиолокаторов на новых физических принципах, таких как сверхкороткоимпульсные сверхширокополосные (СКИ СШП) системы.

СКИ СШП системы успешно применяются в средствах радиосвязи и обмена информацией [1]. Появились сообщения о разработке на этих физических принципах радиолокаторов для ближней зоны, позволяющих, в силу свойств СШП сигналов проникать через препятствия, визуализировать объекты, находящиеся за стенами зданий [2]. В качестве антенн для СКИ СШП систем используются сверхширокополосные рупорные антенны или антенны Вивальди. Их применение объясняют тем, что однополярные СКИ сигналы с длительностью на уровне половины амплитуды $\tau_{0,5} = 0,1 \div 1$ нс, подаваемые в антенну, имеют сверхширокую полосу частот спектра, которую необходимо излучить и затем принять. Такой подход основан на анализе СКИ СШП радиолокатора в частотной области.

Настоящая статья содержит результаты моделирования излучения сигнала, возбуждаемого в антенне при подаче одиночного гауссовского импульса, и последующего приема антенной сигнала после отражения от цели, находящейся на различных расстояниях и по-разному ориентированной в пространстве. Анализ перечисленных процессов выполнен во временной области.

Целью работы является выяснение физических процессов, протекающих в антенне СКИ СШП радиолокатора, а также определение формы и спектра сигнала, отраженного от цели, для различных вариантов удаления, ориентации и размеров последней. В качестве антенны в модели рассматривается рупорная сверхширокополосная антенна, на вход которой подаётся гауссовский импульс.

Задача в трехмерной постановке решена во временной области методом конечных элементов с помощью программных средств ANSYS HFSS и HFSS TR Solver. Дополнительно в частотной области с помощью метода моментов выполнено:

- определение S-параметров антенны;

– определение эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) цели.

Схема исследуемой модели, состоящая из рупорной антенны и цели – квадратного листа нулевой толщины со стороной размером a , расположенного на расстоянии L от антенны, представлена на Рис.1.

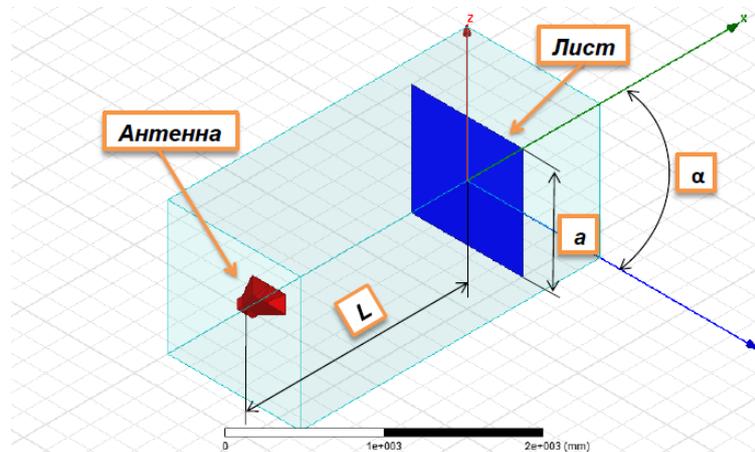


Рисунок 1. Схема исследуемой модели СКИ СШП радиолокатора

Размер a и расстояние L в расчетах варьировалось от 300мм до 1000мм и от 2000мм до 4000мм соответственно, а угол α – 90° , 67° , 45° .

Сверхширокополосная рупорная антенна имеет конструкцию, показанную на Рис. 2. Она возбуждается в точке А сигналом, подводимым по коаксиальной линии $Z=50$ Ом.

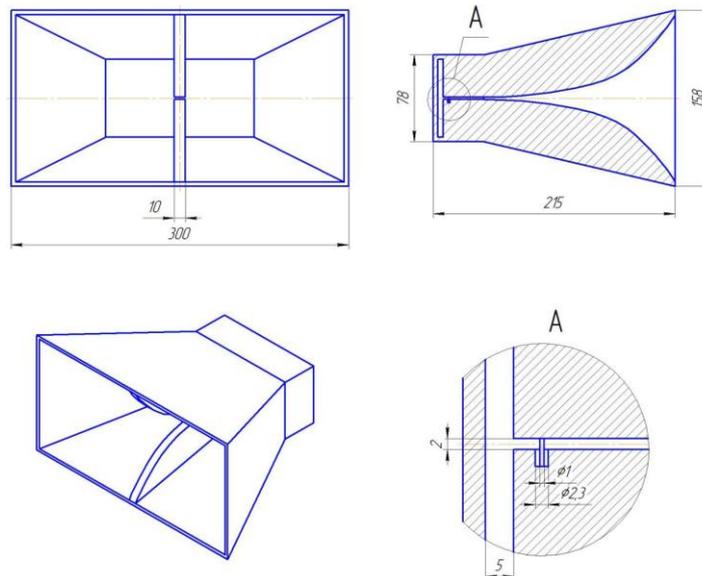


Рисунок 2. Рупорная антенна для модели СКИ СШП радиолокатора.

Анализ характеристик антенны был выполнен в HFSS – IE Solver. Характеристика обратных потерь S_{11} рупора в полосе частот от 0,5ГГц до 5ГГц показана на Рис. 3. Диапазон рабочих частот рупора составляет около трех октав и простирается от 0,6 ГГц до 4 ГГц. В этом диапазоне антенна представляет собой сложную колебательную систему, которая имеет несколько локальных резонансов на частотах 0,85ГГц; 1,15 ГГц; 2,1 ГГц, 2,8 ГГц; 3,65 ГГц.

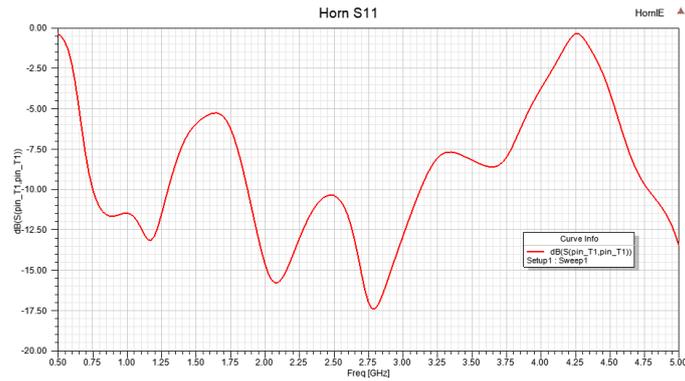


Рисунок 3. Обратные потери рупора.

Для расчета ЭПР цели использовано приближение физической оптики (Physical Optic – PO). ЭПР цели при $a=300\text{мм}$ и $a=1000\text{мм}$ отличаются амплитудой, что объясняется разницей в площади – Рис. 4. При $\alpha < 90^\circ$ возникают резонансы, когда проекция цели на ось L составляет расстояние, кратное половине длины волны. ЭПР цели в этих случаях уменьшается до нуля!

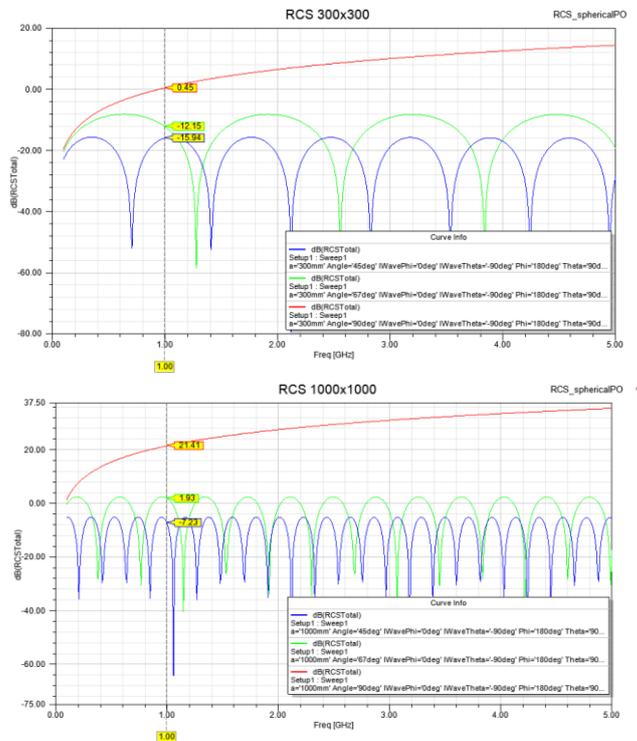


Рисунок 4. ЭПР цели размером $300 \times 300\text{мм}^2$ и $1000 \times 1000\text{мм}^2$.

На вход антенны подается гауссовский импульс с амплитудой 1В и длительностью на полувысоте $\tau_{0,5} = 0,4$ нс. Соответствующая ширина энергетического спектра импульса $\Delta F_{0,5} = 1,1\text{ГГц}$ определяется из выражения $2\pi\Delta F_{0,5} \times \tau_{0,5} = 4\text{Ln}2$ [3]. В антенне возбуждаются СВЧ колебания с длительностью $7 \div 8\text{нс}$, превышающей на порядок длительность гауссовского импульса, и амплитудой, меняющейся, как показано на Рис. 5. Сигнал, переданный в пространство, есть разность падающего и отраженного сигналов. Мгновенная частота СВЧ колебаний, определенная по точкам пересечения с осью абсцисс, с течением времени возрастает и стремится к частоте $F \sim 0,8\text{ГГц}$ первого резонанса антенны.

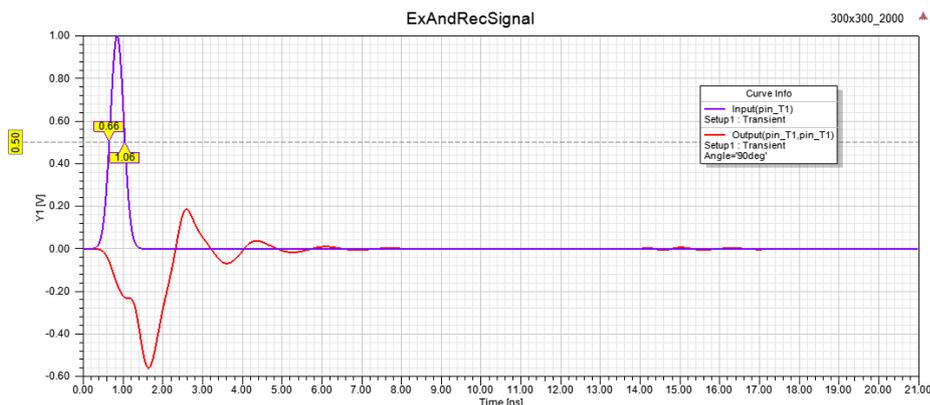


Рисунок 5. Падающий и отраженный от антенны сигналы.

Принятый сигнал при всех вариантах параметров моделирования имеет вид колебаний, аналогичный сигналам Рис. 6, а его спектр, рассчитанный методом быстрого преобразования Фурье с шагом 100 МГц – Рис. 7. Разная форма и амплитуда сигнала вызваны изменением ЭПР цели. Мгновенная частота этих колебаний с течением времени сокращается с 2 ГГц до 0,5 ГГц. Ширина по полувысоте спектра принятого сигнала $\Delta F=0,7$ ГГц.

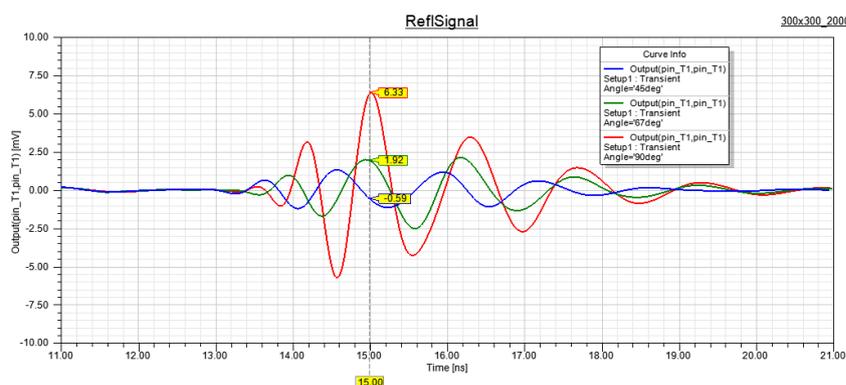


Рисунок 6 Принятый сигнал при $L=2000$ мм и трех значениях наклона листа.

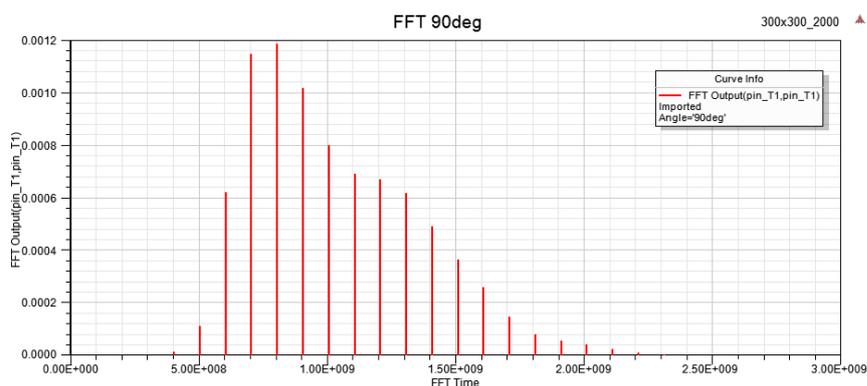


Рисунок 7. Типичный спектр принятого сигнала.

Анализ результатов расчета модели СКИ СШП позволяет сделать следующие выводы.

1. При подаче гауссовского сигнала в антенну происходит переходной процесс установления колебаний в ней. Частота излученных в пространство колебаний устанавливается на одной из резонансных частот $F \sim 0,8$ ГГц колебательной системы

антенны. Амплитуда колебаний сначала возрастает вследствие передачи энергии в антенну, затем падает из-за потерь на излучение.

2. Принятый сигнал на выходе антенны является откликом колебательной системы антенны на отраженный сигнал. Антенна в этом случае играет роль фильтра. Спектр принятого сигнала имеет локальные максимумы на резонансных частотах колебательной системы антенны.
3. Задача обеспечения помехозащищенности СКИ СШП радиолокатора может быть решена путем оптимальной фильтрации принятого сигнала, также как в традиционных радиолокаторах [4]. Оптимальность фильтрации понимается в том смысле, что в результате фильтрации максимизируют отношение сигнал/шум. Поскольку спектр отраженного сигнала известен, то амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) оптимального фильтра (ОФ) должна совпадать с комплексно-сопряженным спектром сигнала. На практике достаточно удовлетворить совпадению их центральных частот и полосы по уровню – 3дБ.
4. В качестве ОФ естественно использовать саму антенну СКИ СШП радиолокатора. Для того чтобы удовлетворить требованиям к АЧХ ОФ, с учетом физических процессов, описанных выше, можно вместо сверхширокополосной рупорной антенны или антенны Вивальди применить более технологичный вариант антенны с полосой порядка одной октавы и центральной частотой вблизи частоты энергетического спектра импульса по уровню его полувьсоты.

Библиографический список

1. <http://www.timedomain.com/>
2. http://www.camero-tech.com/files/Xaver800_RUS.pdf
3. С.И. Баскаков. Радиотехнические цепи и сигналы. М., 1983
4. В.А. Котельников. Теория потенциальной помехоустойчивости. М.-Л., 1961