

О.А. Юрцев¹, П.В. Сухачевский², В.В. Кеда²

¹ООО «КБ Радар» - управляющая компания холдинга «Системы радиолокации», Минск

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Рассеяние радиоимпульса линейным диполем

Представлены анализа рассеянного поля линейным диполем в пространственно-временной области. Облучающая электромагнитная волна задается во временной области в виде радиоимпульса с различной формой огибающей и частотой заполнения. Задача решается с использованием интегрального уравнения Поклингтона в пространственно-частотной области, прямого и обратного дискретного преобразования Фурье.

Ключевые слова: линейный диполь, радиоимпульс, интегральное уравнение для тока, дискретное преобразование Фурье

В докладе рассматривается задача анализа поля, рассеянного диполем, при его облучении электромагнитной волной, заданной во временной области в виде радиоимпульса с заданной формой огибающей и заданной частотой заполнения. Дипольные отражатели используются для создания помех, в частности наземным радиолокаторам обнаружения баллистических объектов. На баллистической траектории крупномасштабные объекты движутся с одной и той же скоростью с облаком пассивных дипольных отражателей. Использование для облучения широкополосных сигналов позволяет обнаружить в отраженном сигнале некоторые признаки, облегчающие идентификацию объекта, скрытого облаком дипольных отражателей. В докладе излагаются результаты анализа рассеянного диполем сверхкороткого радиоимпульса с заданной формой огибающей, с заданной частотой при учете при приеме такого импульса гармонических составляющих в заданном диапазоне частот.

При анализе рассеянного сигнала некоторым объектом в пространственно-временной области обычно задается сверхкороткий видеоимпульс [1, 2, и др.] При этом в резонансной области диполей расположена только высокочастотная часть спектра такого импульса. Это не позволяет в полной мере оценить влияние диполя на спектр излучаемого радиолокатором радиоимпульса. В частности, так решается задача рассеяния в известных программах электродинамического моделирования CST Microwave Studio и FEKO [3, 4]. В отличие от такого подхода, в докладе рассматривается задача рассеяния радиоимпульса.

Задача ставится следующим образом. Задан диполь в виде тонкого проводника в системе координат X, Y, Z . Проводник облучается плоской электромагнитной волной, направление распространения которой задается углом между нормалью к оси диполя θ_1 и направлением распространения. Требуется определить поле, рассеянное диполем, в произвольной точке пространства P (точке приема), заданной углом θ – углом между нормалью к оси диполя и направлением на точку P и расстоянием до центра диполя – R . Диполь облучается электромагнитной волной (ЭМВ) с амплитудой электрического поля E_1 . Вектор электрического поля расположен в плоскости расположения диполя (в E_1

плоскости поля диполя). Длина диполя – L ; радиус $A_0 \ll L$ и $A_0 \ll \lambda$, где λ – длина волны. Во временной области ЭМВ представляет собой импульс с частотой заполнения f . В итоге решения задачи требуется определить рассеянное диполем поле – импульс ЭМВ во временной области. Для решения задачи используется следующий алгоритм.

1. По облучающей монохроматической электромагнитной волне с заданной амплитудой E_0 определяется ток в диполе в заданном диапазоне частот $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$. Используется метод моментов: интегральное уравнение для тока в тонком проводнике Поклингтона [1], импульсные функции в качестве базисных и весовых.

2. По найденному току в диполе определяется комплексная амплитудно-фазочастотная характеристика рассеяния диполя (АФЧХ) как функция частоты $\dot{A} = A e^{i\Psi}$, где $A = \sqrt{S/S_{\max}}$, S – однопозиционная эффективная площадь рассеяния диполя (ЭПР), S_{\max} – максимальное значение ЭПР в диапазоне Δf , Ψ – фаза поля рассеяния диполя в точке приема.

4. Заданный радиоимпульс с использованием дискретного преобразования Фурье раскладывается в ряд временных гармоник в диапазоне Δf .

5. Определяется отклик диполя на каждую гармонику. Для этого комплексная амплитуда гармоники с частотой f_n умножается на \dot{A} .

6. По найденному ряду гармоник рассеянного поля с помощью обратного дискретного преобразования Фурье синтезируется рассеянный радиоимпульс.

Задача в пунктах 4, 5, 6 решается для разного диапазона Δf при заданной средней частоте f и для импульсов с разной формой огибающей. Рассматриваются три вида импульсов – прямоугольный, трапециидальный и гауссов с различной длительностью T . На рис.1 показаны огибающие трапециидального и гауссова импульсов и их параметры. При $T_0=T$ трапециидальный импульс превращается в прямоугольный.

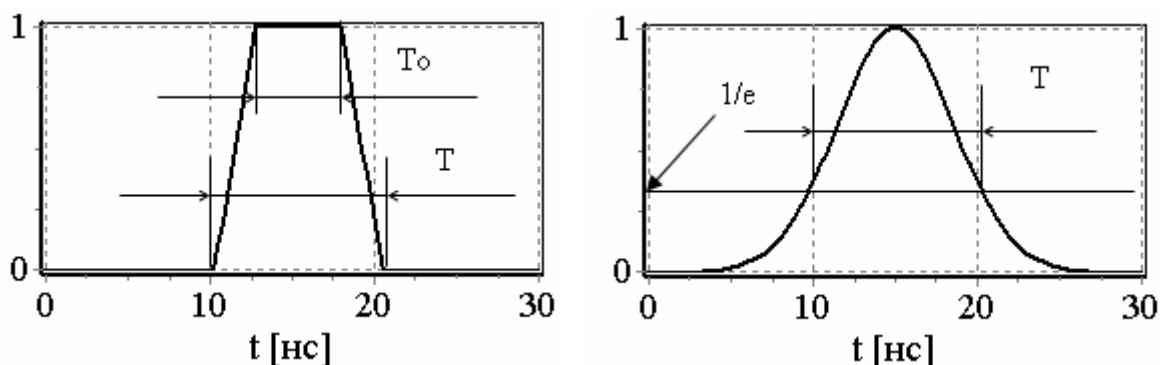


Рисунок 1

Анализ рассеянного импульса выполнен с помощью программы, построенной по описанному выше алгоритму.

При учете лишь части спектра импульса импульс, полученный в результате обратного преобразования Фурье (восстановленный импульс), отличается от исходного.

Для иллюстрации на рис.2 показаны исходные прямоугольный и трапециидальный импульсы с частотой заполнения $f=1000$ МГц, и восстановленные при учете части спектра в диапазоне 500-1500 МГц.

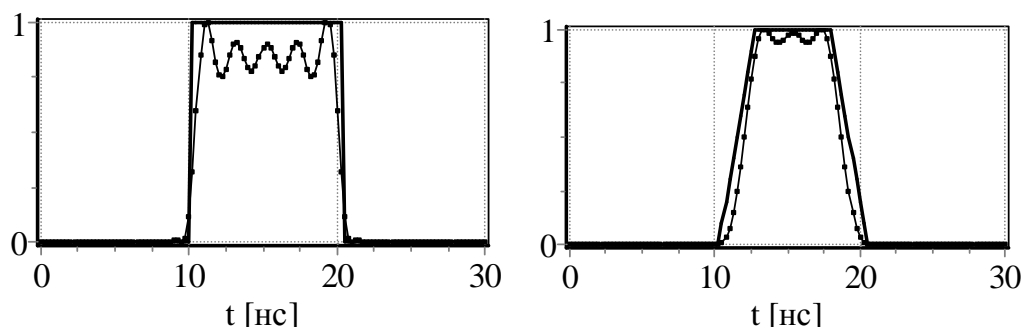


Рисунок 2

Проведенный анализ показывает, что наибольшее изменение формы при рассеянии диполем наблюдается для прямоугольного импульса. Далее приводятся результаты анализа рассеянного прямоугольно импульса при различной его длительности (T), различной ширине учитываемого спектра (Δf) с частотой заполнения $f=1000$ МГц. Для примера рассматривается диполь с длиной $L=1500$ мм, радиуслм проводника $A_0=2$ мм. Зависимость ЭПР от частоты такого диполя в диапазоне частот 500-1500 МГц показана на рис.3. Максимум ЭПР имеет место на частоте $f_0=885$ МГц.

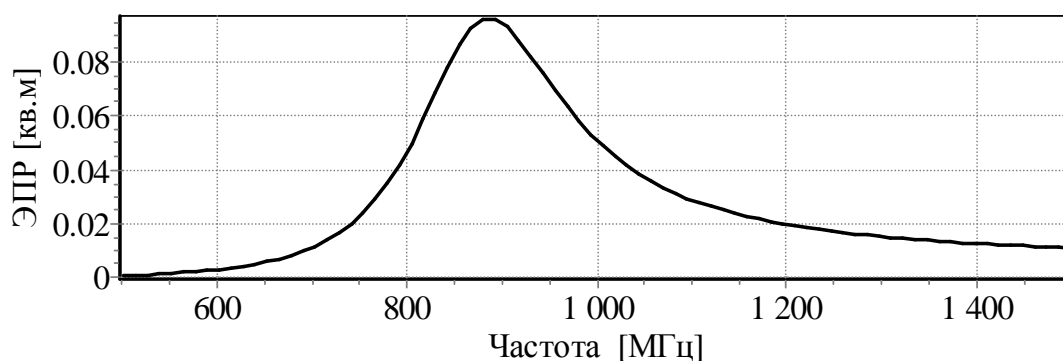


Рисунок 3

На последующих рисунках приводятся огибающие рассеянного прямоугольного импульса, нормированной к максимуму, при различных его параметрах и различной ширине спектра, учитываемого при восстановлении импульса с помощью обратного преобразования Фурье.

Рис.4 – $f_{min}=500$ МГц; $f_{max}=1500$ МГц ($\Delta f =1000$ МГц); (а) – $T=5$ нс, (б) – $T=10$ нс. (в) – $T=20$ нс. (г) – $T=40$ нс..

Рис. 5 – $f_{min}=900$ МГц; $f_{max}=1100$ МГц ($\Delta f =200$ МГц); $T=5$ нс (а) – спектр импульса в диапазоне Δf , (б) – восстановленный импульс без учета АФЧХ диполя; (в) – спектр рассеянного импульса в диапазоне Δf , (г) – рассеянный импульс.

Рис. 6 – $f_{min}=900$ МГц; $f_{max}=1100$ МГц ($\Delta f =200$ МГц); $T=40$ нс (а) – спектр импульса в диапазоне Δf , (б) – восстановленный импульс без учета АФЧХ диполя; (в) – спектр

рассеянного импульса в диапазоне Δf , (г) – рассеянный импульс

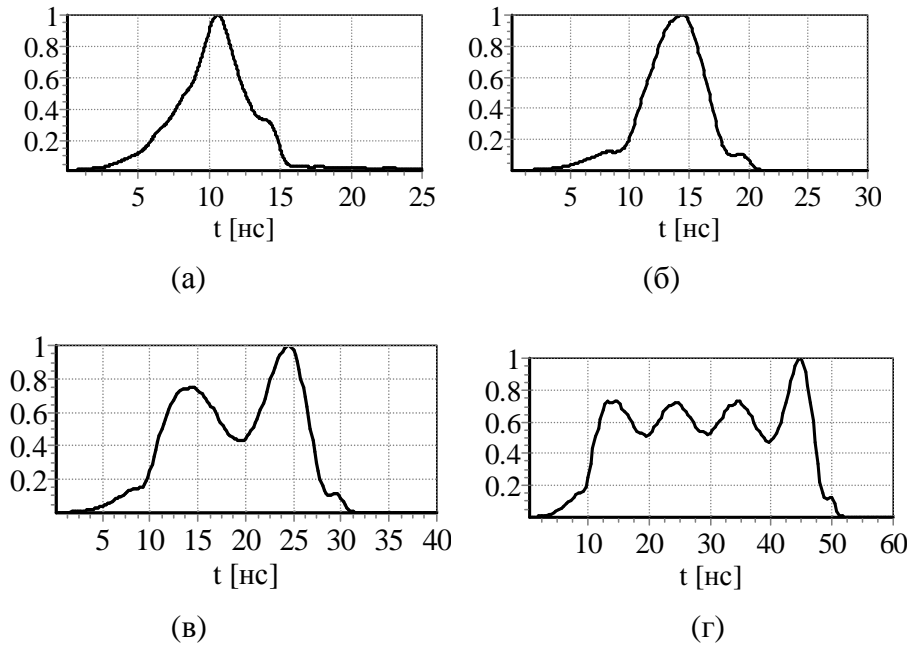


Рисунок 4

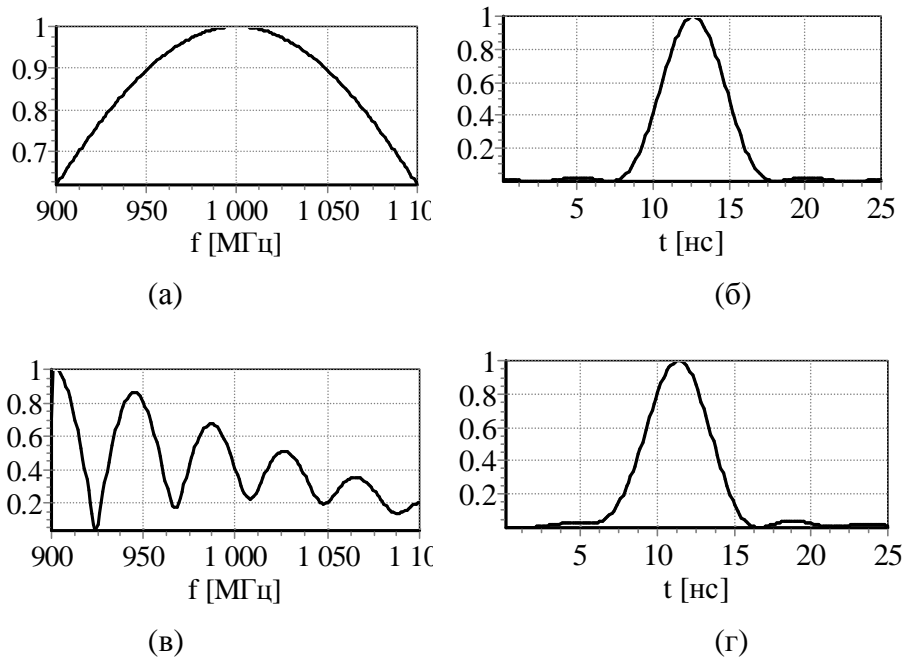
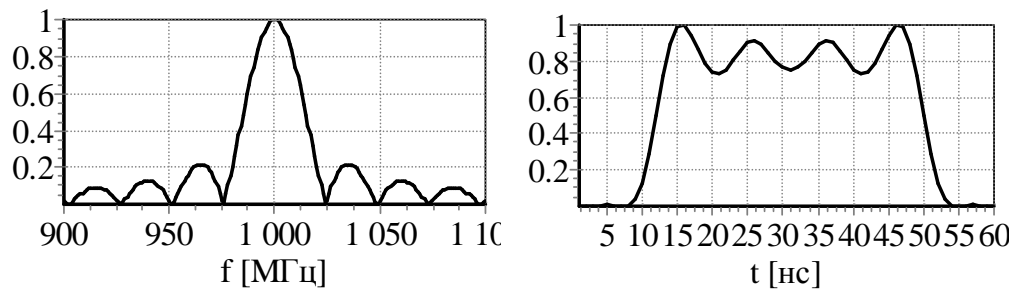


Рисунок 5



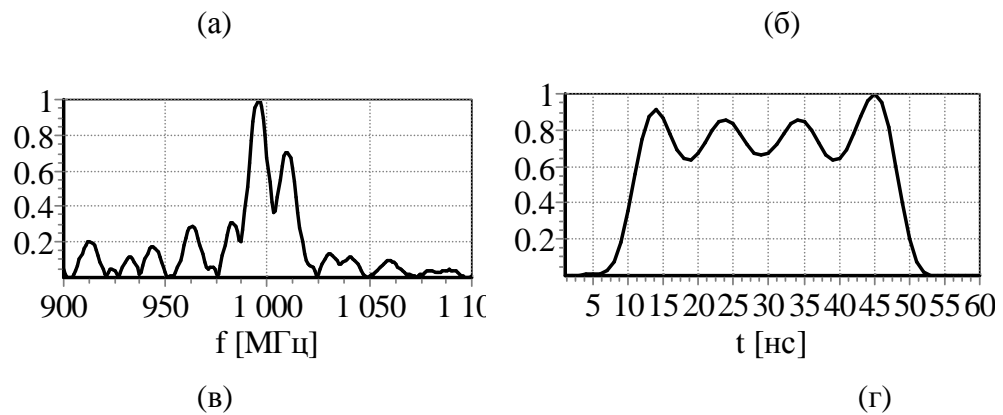


Рисунок 6

Выводы

Из проведенного анализа следует, что с увеличением ширины спектра при восстановлении рассеянного импульса (с увеличением полосы пропускания приемника рассеянного импульса) увеличиваются искажения формы огибающей рассеянного диполем импульса. Эти искажения максимальны для прямоугольного импульса, минимальны для гауссового импульса. Искажения увеличиваются с уменьшением длительности облучающего импульса. Искажения формы огибающей импульса происходят и при нерезонансной длине диполя, но амплитуда рассеянного импульса уменьшается с удалением частоты заполнения импульса от резонансной частоты диполя. Степень искажения формы импульса при рассеянии не зависит от ориентации диполя по отношению к направлению распространения ЭМВ и положения ее плоскости поляризации. От этого зависит лишь амплитуда рассеянного импульса.

Библиографический список

1. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред. Р. Митры. – Москва: Мир. – 1977. – С. 495
2. Time-Domen Method for Microwave Structures. Analysis and Design / Editor by Tatsuo Itoh. – IEEE Press. – 1998. P. 517.
3. Банков С.Е. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР. / Банков С.Е., Курушин А.А. // – М., ЗАО «НПП «РОДНИК». – 2008. – С. 276.
4. Банков С.Е. Практикум проектирования СВЧ структур с помощью FEKO / Банков С.Е., Курушин А.А. // – М., ЗАО «НПП «РОДНИК». – 2009. – С. 200.
5. Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. / Курушин А.А., Пластиков А. // – М. Издательство МЭИ. – 2010. – С. 160.