

Рассеяние широкополосного радиосигнала системой диполей

Приводятся результаты численно анализа изменения спектра и формы огибающей широкополосного радиосигнала при рассеянии системой диполей. Используется спектральный метод и метод моментов. Широкополосный сигнал задается радиоимпульсом прямоугольной и гауссовой формы.

Ключевые слова: рассеяние, широкополосный радиосигнал, метод Фурье, метод моментов

Введение

Изменение спектра и формы огибающей широкополосного сигнала при его рассеянии объектом радиолокации может быть использовано для распознавания этого объекта. Подобная задача в известных работах решается с использованием уравнений Максвелла в пространственно-временной форме записи [1 и др]. При этом используется метод конечных разностей во временной области (КРВО). Задача решается также с использованием интегральных уравнений электродинамики, записанных в пространственно-временной форме [2]. Возбуждающе воздействие задается в виде сверхкороткого видеоимпульса. При таком возбуждении максимум энергии сигнала расположен вблизи нулевой частоты. В диапазоне частот работы реального радиолокатора максимум энергии сигнала расположен на заданной несущей частоте. Поэтому необходимо знать признаки в рассеянном сигнале с заданной несущей частотой. В настоящем докладе используется метод, описанный в работе [3]. Заданный радиосигнал раскладывается в дискретный ряд Фурье. Определяется отклик объекта радиолокации на каждую гармонику радиосигнала, т.е. спектр рассеянного сигнала. По этому спектру с помощью обратного дискретного преобразования Фурье определяется рассеянный сигнал (его огибающая). Информация о признаках, характерных для конкретного объекта, содержится в спектре рассеянного сигнала и в форме его огибающей. В докладе этот метод иллюстрируется на задаче рассеяния широкополосного сигнала системой тонких металлических диполей. Сама по себе эта задача также имеет прикладное значение: система металлических диполей в виде облака используется для радиомаскировки объектов на баллистической траектории.

Результаты анализа

Рассмотренный алгоритм решения задач рассеяния широкополосного сигнала иллюстрируется на задаче, геометрия которой поясняется рис.1.

На рис.1 показаны диполи, расположенные вдоль оси X. Их длина обозначена символами $L_1, L_2, L_3, L_4, \dots$. Показаны расстояния между ними, векторы поля и вектор фазовой скорости облучающей электромагнитной волны, распространяющейся вдоль оси $-Z/$

В качестве огибающей радиосигнала использован прямоугольный и гауссов импульсы длительностью T . Несущая частота взята равной $f_0 = 1000$ МГц; полоса частот для анализа рассеянного поля $f_{\min} = 500$ МГц, $f_{\max} = 1500$ МГц. При учете спектра в указанном диапазоне частот форма огибающей искажается. На рис.2 показана огибающая

прямоугольного импульса $U(t)$ длительностью 5 нс (1) и его огибающая при учете спектра в диапазоне частот 500-1500 МГц (2). Гауссов импульс искажается в меньшей степени при урезании его спектра, что показано на рис.3. При оценке степени искажения огибающей при рассеянии целесообразно сравнивать рассеянный импульс с облучающим, синтезированным по заданной части спектра.

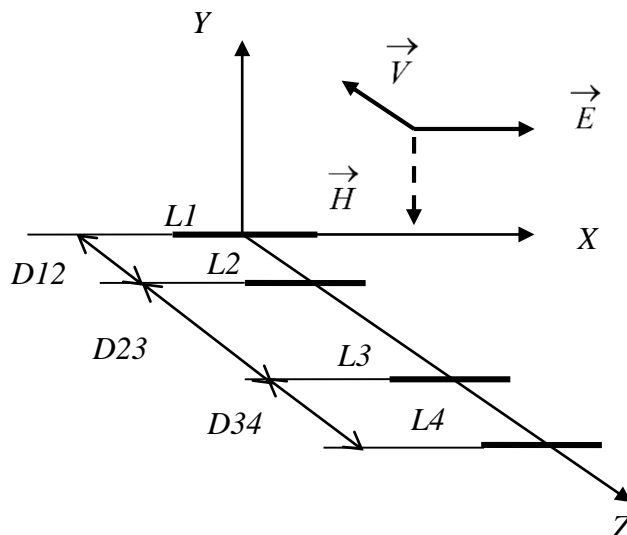


Рисунок 1.

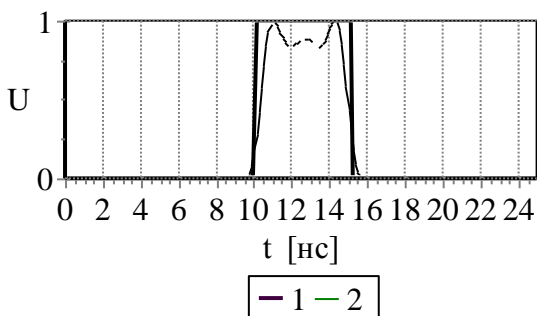


Рисунок 2.

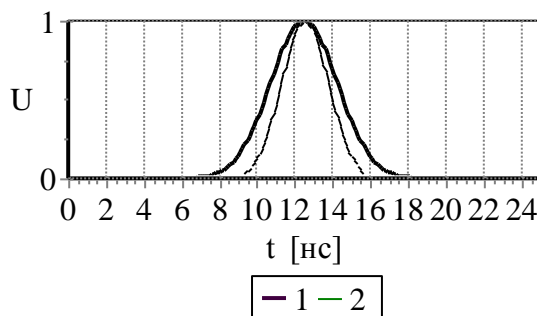


Рисунок 3.

Далее приводятся результаты решения задачи рассеяния радиоимпульса разной длительности, с разным числом и длиной диполей и разным их расположением вдоль оси Z . Рассеянный сигнал во временной области обозначается символом $U(t)$ и в пространственной области $U(Z)$, где $Z = ct$ - координата, вдоль которой распространяется электромагнитная волна, облучающая объект, c - скорость света.

На рис.4 показана зависимость ЭПР и фазы поля рассеяния в точке приема от частоты для одного диполя с резонансной длиной на частоте 1000 МГц; на рис.5 - амплитудные нормированные к максимуму спектры облучающего (1) и рассеянного (2) импульсов.

На рис.6 показаны огибающая рассеянного импульса (1) и рассеянный радиоимпульс (2) на временной оси при прямоугольной форме огибающей облучающего импульса. На рис.7 показаны те же импульсы, но при гауссовой форме огибающей облучающего импульса.

Как видно, изменение формы огибающей гауссового импульса незначительно и, видимо, не позволит выделить признаки, необходимые для распознавания.

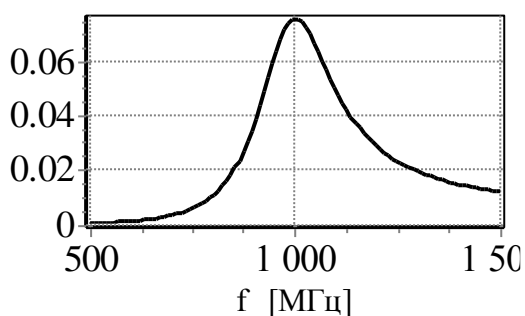


Рисунок 4.

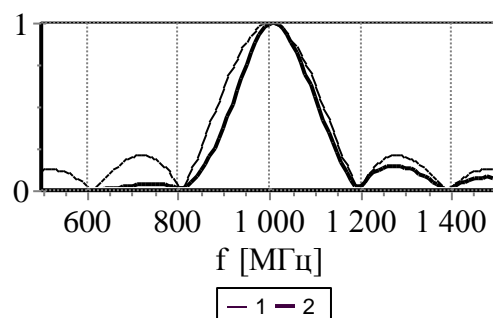


Рисунок 5.

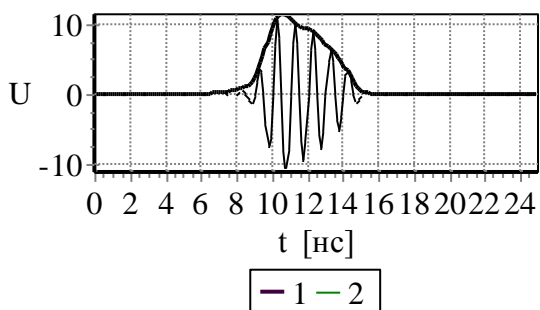


Рисунок 6.

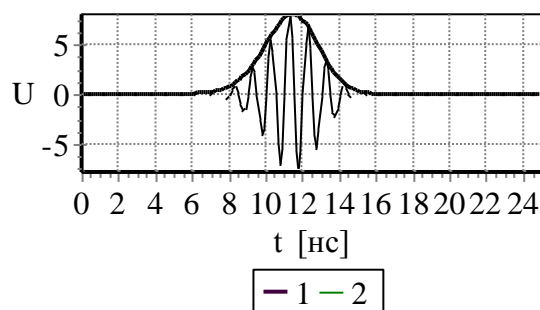


Рисунок 7.

На рис.8 показана зависимость ЭПР от частоты (амплитудно-частотная характеристика –АЧХ) диполя, резонансная частота которого равна f_{\min} . Поскольку диполь в этом случае длиннее предыдущего, максимум ЭПР на резонансной частоте больше, а на частоте $f_0=1000$ МГц – меньше, чем в предыдущем случае. В диапазоне частот $f_{\min} \dots f_{\max}$ АЧХ диполя почти равномерная, и искажения спектра и формы огибающей незначительны. Для иллюстрации на рис.9 показаны огибающие облучающего (2) и рассеянного (1) импульсов.

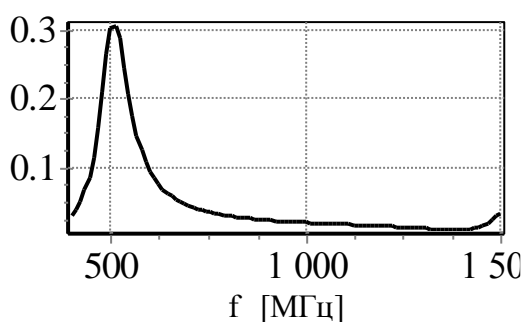


Рисунок 8.

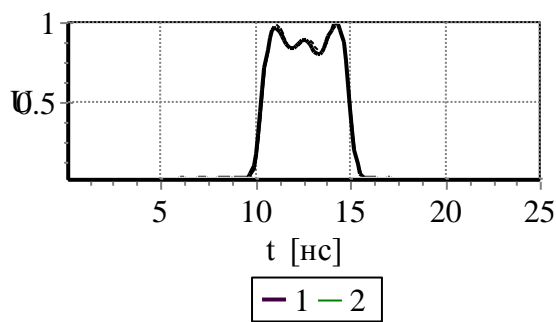


Рисунок 9.

Характер изменения спектра и формы огибающей при рассеянии несколькими диполями иллюстрируют следующие рисунки.

На рис.10 показана АЧХ двух диполей одинаковой длины с резонансными частотами, равными $f_0=1000$ МГц, расположенными на расстоянии друг от друга на расстоянии $D12=2$ м. Длительность облучающего импульса $T=5$ нс (в пространстве протяженность импульса равна $\Delta Z 1,5$ м). На рис.11 – огибающие рассеянного радиоимпульса. В этом случае результат существенно отличается от случая одного диполя.

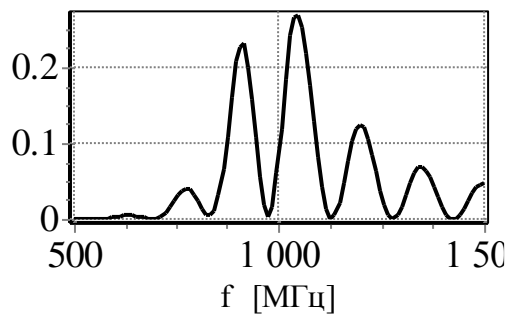


Рисунок 10.

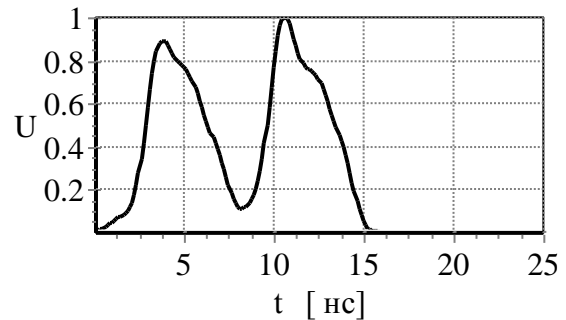


Рисунок 11.

На рис.12 показаны аналогичные результаты при рассеянии семью диполями, расположенными так, как показано на рис.1. Все диполи одинаковой длины с резонансными частотами равными $f_0=1000$ МГц. Расстояния между соседними диполями равно 2 м. Общая длина системы диполей равна 12 м. Огибающая рассеянного импульса показана в пространственной области – вдоль оси Z. В этом случае зависимость амплитуды огибающей от Z является дальномерным портретом объекта. По нему можно определить размеры объекта вдоль направления распространения облучающей электромагнитной волны. Аналогичная картина получается для гауссова импульса. Для иллюстрации на рис.13 показана зависимость огибающей от координаты Z для 7 диполей. Расстояния между соседними диполями попеременно задаются равным 2м и 1м. Общая длина системы диполей равна 9 м. Длительность облучающего импульса равна 5 нс. Рис.14 соответствует длительности облучающего импульса 2 нс

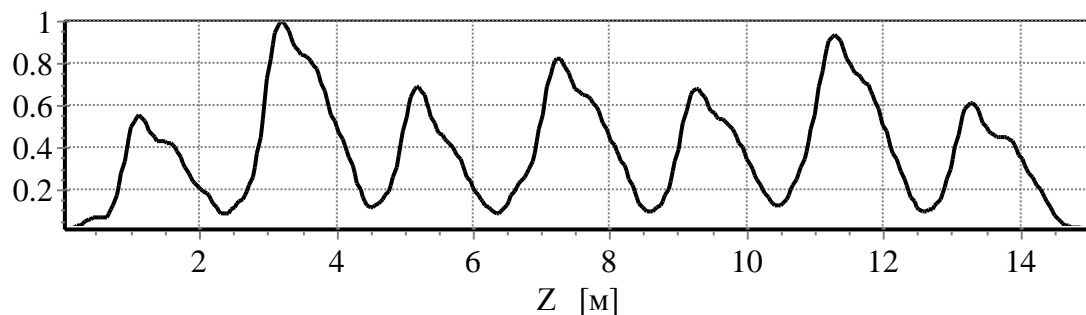


Рисунок 12.

На рис.15 показана АЧХ, а на рис.16 – огибающая рассеянного импульса для системы из 7 диполей разной длины. Центральный диполь имеет резонансную длину на несущей частоте облучающего импульса, равную $L3=132$ мм, длина остальных диполей $L1=80$ мм, $L2=100$ мм, $L3=120$ мм, $L5=150$ мм, $L6=170$ мм, $L7=200$ мм. Расстояние между соседними диполями равно 2 м. Общая длина системы диполей равна 12 м, расстояние между крайними пиками на рис.16, соответствующими отражениям от 7 диполей, равно 12 м.

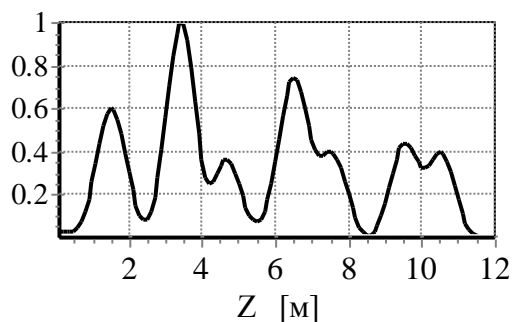


Рисунок 13.

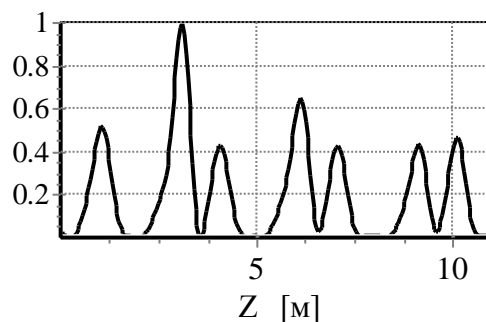


Рисунок 14.

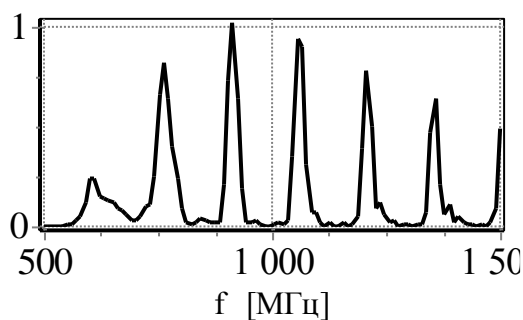


Рисунок 15.

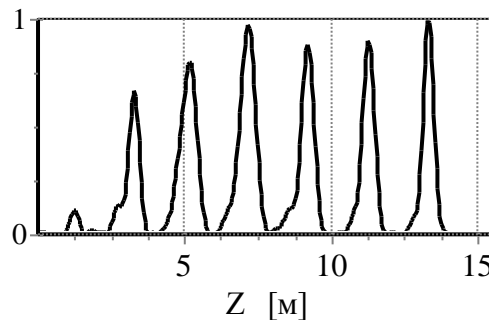


Рисунок 16.

Проведенные исследования показали, что описанная в работе [3] и использованная в настоящей статье методика позволяет получить сведения об объекте радиолокации, необходимые для решения задачи его распознавания. Из трех типов облучающих радиоимпульсов – прямоугольного, трапецеидального и гауссового – наиболее эффективным, с точки зрения получения необходимых признаков объекта радиолокации, является прямоугольный радиоимпульс.

Библиографический список

1. Time-Domen Mhetod for Microwave Structures. Analysis and Design / Editor by Tatsuo Itoh. – IEEE Press. – 1998. P.517.
2. Вычислительные методы в электродинамике / Под ред.Р.Митры. – Москва::Мир. – 1977. – С. 495
3. Юрцев О.А., Сухачевский П.В., В.В.Кеда В.В. Рассеяние радиоимпульса линейным диполем//Материалы III Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». –Санкт-Петербург. –2014. – сс. 252-246.