

УДК 621.396.677

Исследование характеристик излучения антенных решеток с применением анализа во временной области

*Коровушкина А.С., студентка
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»*

*Научный руководитель: Литун В.И., ст. преподаватель
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
v.i.litun@gmail.com
main@r11-11.bmstu.ru*

Одним из методов повышения информативности радиоэлектронных систем является расширение полосы частот излучения. Развитие широкополосной (ШП) и короткоимпульсной (КИ) радиолокации требует учета ряда особенностей на этапе проектирования антенных систем. В то же время растущие потребности в адаптации и диаграммоформировании обуславливают применение антенных решеток (АР).

При разработке АР оптимизация характеристик излучателя и их исследование в составе решетки производится с помощью программных пакетов на основе строгих методов электродинамического анализа. Такой подход сопряжен с рядом особенностей, а сложность и ресурсоемкость непосредственно зависит от количества элементов и качества сетки разбиения.

Классический метод расчета диаграммы направленности (ДН) решетки требует знания ДН одного элемента (для одинаковых точечных источников излучения) и множителя решетки [1]. Расчет может быть произведен на одной конкретной частоте, что вызывает при работе с ШП антеннами необходимость многократного проведения вычислений.

В данной работе представлен альтернативный метод, позволяющий рассчитывать характеристики поля на основе временных зависимостей сигнала в дальней зоне.

I Описание алгоритма вычислений

В частотной области аналоговые импульсные сигналы можно описать с помощью спектральной функции $S(f)$, которая связана с временной функцией сигнала $s(t)$ прямым преобразованием Фурье:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt. \quad (1)$$

Спектр таких сигналов в общем случае является комплексной функцией частоты. Любую комплексную функцию $S(f)$ можно представить в показательной форме через модуль и аргумент:

$$S(f) = |S(f)| \cdot e^{i \arg S(f)}. \quad (2)$$

Модуль спектральной функции $S(f)$ называется амплитудным спектром, а аргумент – фазовым спектром.

Таким образом, основными характеристиками аналогового сигнала являются временная $s(t)$ и спектральная $S(f)$ функции, связанные преобразованием Фурье:

$$F \quad s(t) \Leftrightarrow S(f). \quad (3)$$

В качестве сигнала возбуждения элемента удобно использовать радиоимпульс с гауссовской огибающей. Амплитудный спектр такого сигнала также имеет форму гауссовской кривой. В связи с тем, что в спектре сигнала возбуждения нет нулей, появляется возможность прямого численного определения спектральных характеристик излучателей в широкой или в сверхширокой полосе.

Для АР итоговый сигнал, излученный в некотором направлении, в дальней зоне представляет из себя сумму излученных сигналов в этом направлении с некоторыми задержками. Величина временных сдвигов определяется исходной геометрией решетки, расстоянием между излучающими элементами, фазовым распределением.

Параметры возбуждающего импульса и форма огибающей выбирают из условия обеспечения заданной полосы частот. В Matlab происходит обработка дискретного сигнала, полученного после электродинамического моделирования. Период дискретизации выбирается таким, чтобы минимизировать шумы дискретного преобразования Фурье, при этом частота дискретизации сигнала должна удовлетворять теореме Котельникова.

По соотношениям спектров суммарного сигнала можно судить об интенсивности излучения в данном направлении в полосе частот.

Для получения ДН необходимо выбрать значения амплитуды спектральной плотности мощности по всем направлениям на интересующих частотах. Выбор плотности сетки угловых координат суммирования следует из ожидаемой ширины ДН, шаг сетки не должен быть хуже 0,1 ширины главного лепестка.

II Исследование характеристик излучения

Метод рассмотрен на примере линейной эквидистантой АР со ступенчатым амплитудным распределением. В качестве излучателей АР при малых и средних уровнях мощности выгодно использовать антенны, выполненные на основе технологии печатных плат [2].

АР работает в X-диапазоне длин волн и состоит из 8 модулей по 16 излучателей в каждом. Возбуждение излучающих элементов происходит синфазно. В программе электродинамического моделирования был реализован один из модулей АР. На вход центрального элемента поступал радиоимпульс длительности 1 нс с гауссовой огибающей. Излученные сигналы регистрировались в дальней зоне для двух ортогональных компонент вектора электрического поля. В среде Matlab производилась обработка временных отсчетов сигнала, взятых с периодом дискретизации 15,141 пс, и соответствующих им напряженностей электрического поля.

Возбуждающий импульс и его амплитудный спектр приведены на рис. 1. Форма сигналов, зарегистрированных под разными углами φ в дальней зоне на расстоянии 5 метров от решетки в осевом сечении ДН показана на рис. 2. Спектры соответствующих сигналов приведены на рис. 3.

Для двух ортогональных сечений с шагом $0,5^\circ$ построены ДН решетки на центральной частоте 9,5 ГГц и частоте 10,1 ГГц. На тех же рисунках штрихпунктирной линией показаны ДН, полученные классическим методом расчета. Результаты представлены на рис. 4 и рис. 5.

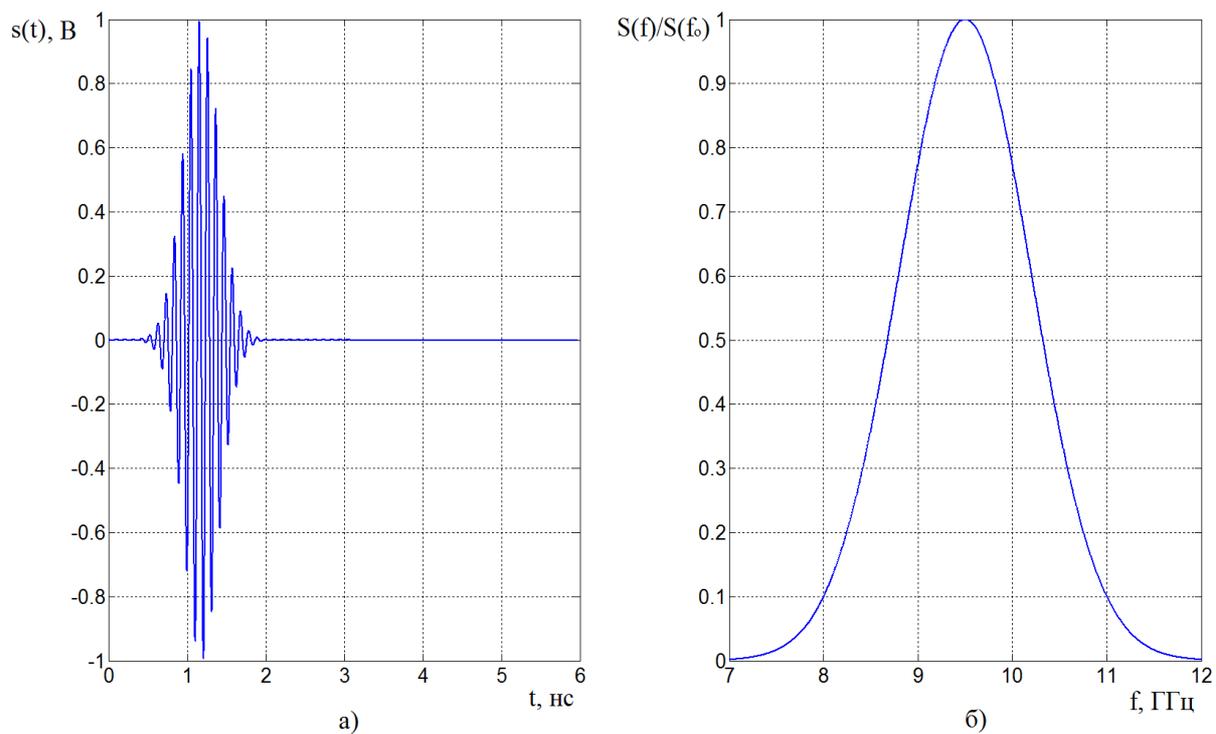


Рис. 1. Возбуждающий сигнал: а) нормированный сигнал
 б) нормированный спектр

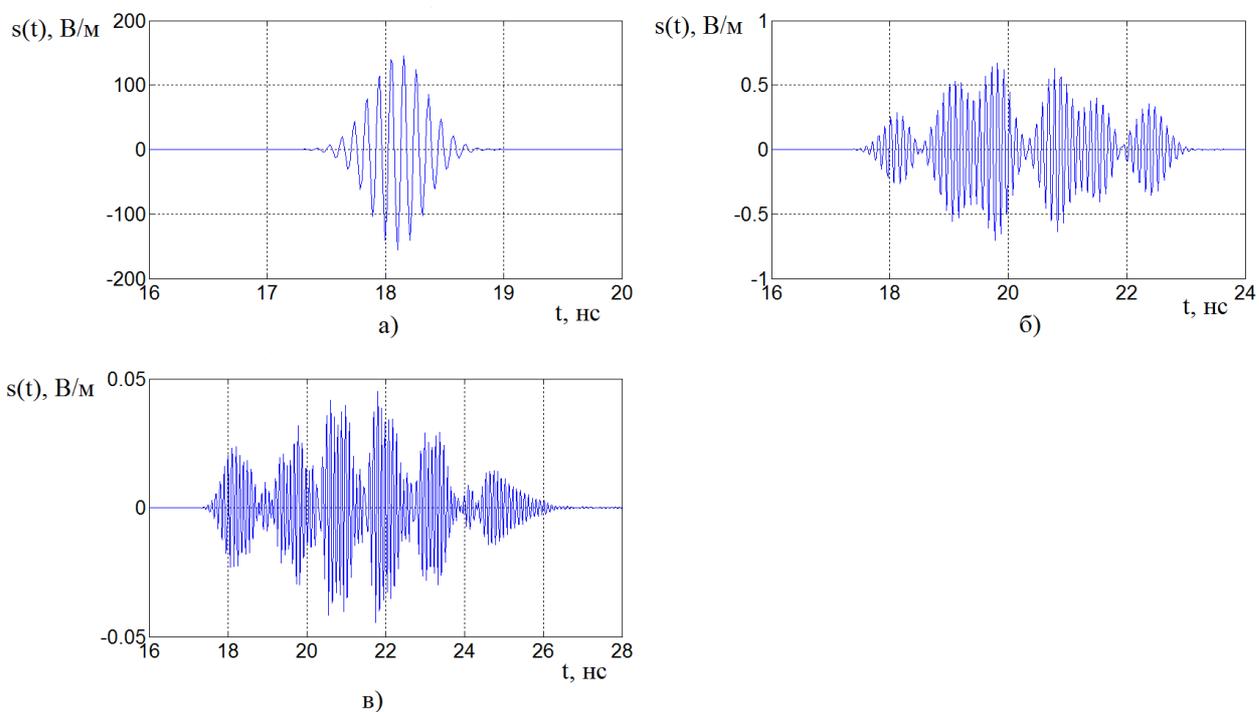


Рис. 2. Сигналы, излученные АР в осевом сечении: а) $\varphi = 90^\circ$ б) $\varphi = 130^\circ$
 в) $\varphi = 180^\circ$

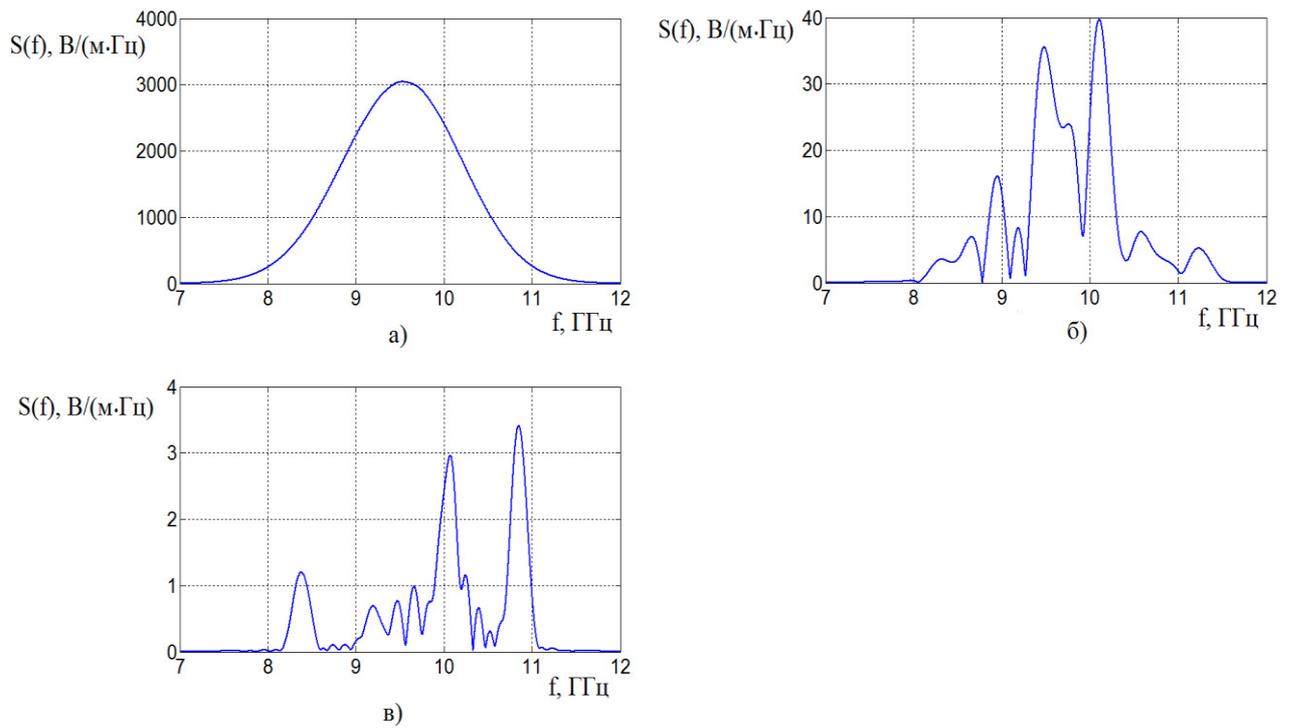


Рис. 3. Спектры излученных сигналов в осевом сечении: а) $\varphi = 90^\circ$ б) $\varphi = 130^\circ$
в) $\varphi = 180^\circ$

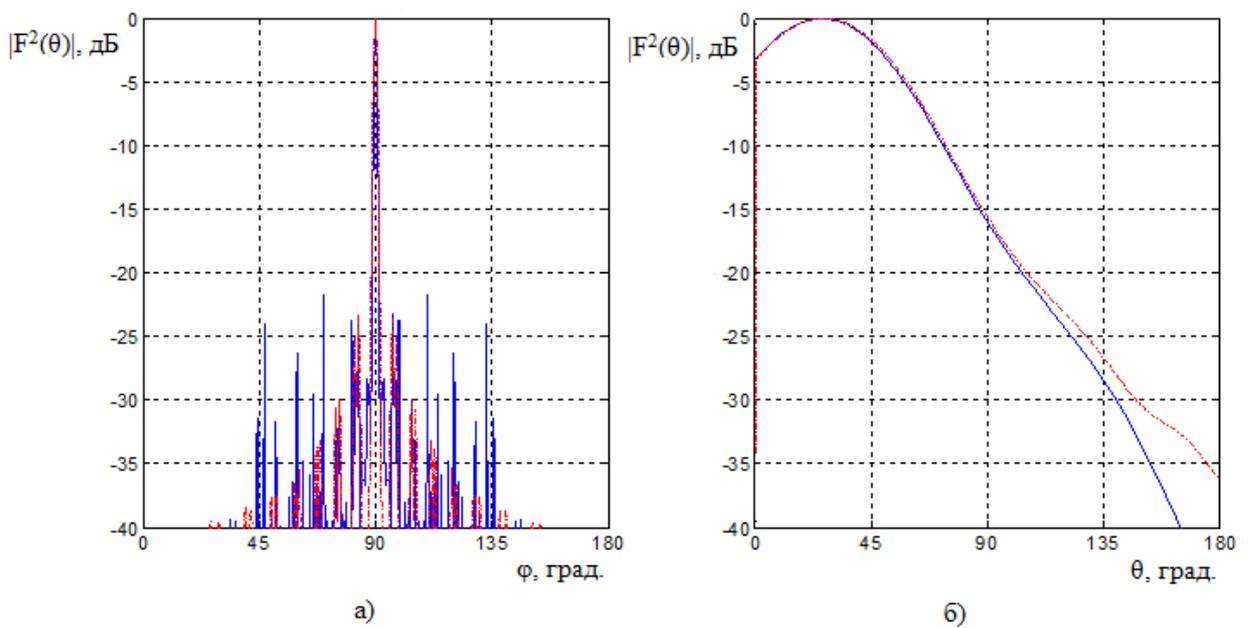


Рис. 4. Диаграмма направленности на частоте 9,5 ГГц: а) $\theta = 26^\circ$ б) $\varphi = 90^\circ$

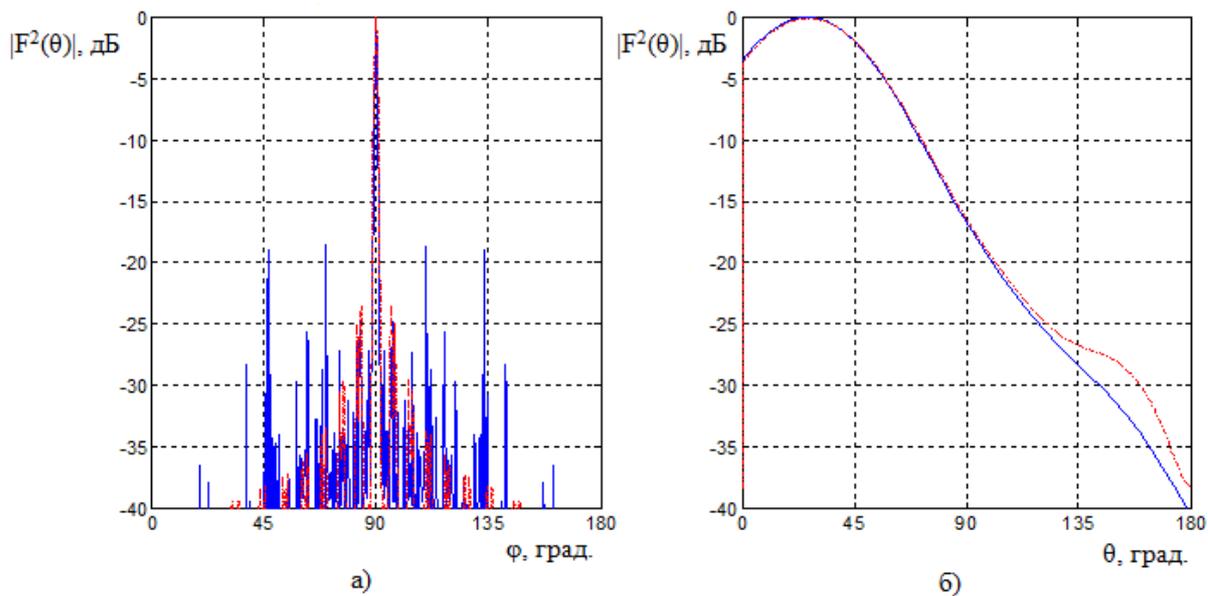


Рис. 5. Диаграмма направленности на частоте 10,1 ГГц: а) $\theta = 26^\circ$ б) $\phi = 90^\circ$

Из анализа полученных ДН можно сделать вывод о практическом совпадении кривых в области главного лепестка и первых боковых лепестков. Далее наблюдаются всплески боковых лепестков. Их наличие объясняется возникновением шумов в преобразовании Фурье из-за конечного шага временных отсчетов сигнала. Этим фактором объясняется ограниченная точность метода [3].

III Заключение

Метод расчета характеристик излучения АР, показанный в данной работе, основан на анализе излученных сигналов во временной области. Он позволяет определить амплитуду поля в заданном направлении в полосе частот. Шаг частотной сетки и исследуемые направления определяются точностью изначального электродинамического моделирования одного излучателя в решетке. Метод достаточно прост в реализации. Он может быть применен для анализа широкополосных и сверхширокополосных антенн и АР, а также для исследования адаптационных алгоритмов в полосе частот.

Список литературы

1. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радиотехника, 2012. 744 с.
2. Kin-Lu Wong. Compact and Broadband Microstrip Antennas. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002. 344 p.
3. Zwick T., Wiesbeck W., Timmermann J., Adamiuk G., eds. Ultra-wideband RF System Engineering. Cambridge: University Press, 2013. 185 p.