

Плоская дисковая антенна, расположенная над экраном, для излучения и приема СКИ сигналов

А.В. Кочетов

АО НПП Радар ммс, orienta@inbox.ru

Представлены результаты разработки широкополосной антенны, способной работать в составе ФАР с управляемой поляризацией. Создан макетный образец антенны, проведены измерения КСВН антенны при помощи векторного анализатора цепей и диаграммы направленности при помощи специального измерительного стенда. Разработанная антенна может использоваться в качестве одиночного элемента сверхширокополосной сверхкороткоимпульсной АФАР с управляемой поляризацией.

The results of the development of a broadband antenna, capable of operating as a part of a phased array with controlled polarization, are presented. A prototype of the antenna was created; measurements of the VSWR antenna were made using a vector network analyzer and a directional pattern using a special measuring stand. The developed antenna is prepared for use as a sample of a single element of a broadband phase array antenna with controlled polarization.

Целью данной работы является разработка сверхширокополосной антенны, которая может работать над металлической подложкой в составе антенной решетки с управляемой поляризацией не снижая ширину своей рабочей полосы.

Использование широкополосных и сверхширокополосных сигналов в РЛС позволяют решать широкий спектр задач, недоступных для радиолокаторов с узкополосным сигналом. Примерами таких применений могут быть РЛС с СШП ЛЧМ сигналом, имеющих сверхвысокое разрешение по дальности (до нескольких десятков сантиметров), или РЛС с использованием в качестве зондирующего сигнала сверхкоротких импульсов (СКИ), которые позволяют проводить подповерхностную локацию, наблюдать объекты за преградами, которые не позволяют наблюдать цели в монохроматическом режиме (например – за стеной), режим радиовидения, когда при использовании специальных методов обработки сигналов можно строить изображения цели за счет того, что импульс имеет малую длину в пространстве и отражается не от цели как от единого объекта, а от отдельных её элементов.

Разработка антенн, применимых в таких системах, осложнена отсутствием строгой теории, которая бы позволила заранее рассчитать геометрические размеры и форму такой антенны. Применение классической антенной теории затруднено тем, что получаемые с её помощью интегральные выражения редко имеют строгое аналитическое решение (таковые решения найдены для ограниченного числа геометрически простых антенн), поэтому такое выражение не может помочь для теоретического предсказания параметров широкополосных и сверхширокополосных антенны. Единственным методом расчета, оптимизации и учета влияния окружающих антенну объектов становится численное решение уравнений Максвелла, которые рассчитываются для множества элементарных ячеек, на которые разбивается антенна.

Такой метод расчета имеет свои ограничения, к полученным результатам необходимо относиться с известной долей скепсиса, но, в настоящее время, это единственный путь, позволяющий без долгой и дорогой экспериментальной отработки получать антенны, работающие с СШП сигналами. Любой результат, полученный при помощи такого численного расчета, необходимо верифицировать путем изготовления опытного образца, измерения его характеристик и, при необходимости, корректировки геометрии антенны.

В данной работе рассматривается именно такой метод расчета одиночного антенного элемента широкополосной ФАР – расчет антенны при помощи пакета электродинамического моделирования CST Studio и дальнейшая проверка полученных результатов при помощи опытного образца.

В качестве прототипа антенны был выбрана антенна, построенная на основе металлического диска и земляного элемента, между которыми расположены элементы связи и крепежный элемент, расположенный по центру антенны. Внешний вид прототипа антенны, наглядно демонстрирующий его конструкцию, приведен на рис. 1.

Такие дисковые антенны над экраном достаточно хорошо известны [1]. Однако, такие антенны имеют достаточно ограниченную полосу рабочих частот, не превышающую 8 % от центральной. С использованием же емкостного элемента связи питающего фидера и индуктивной нагрузки собственно антенного элемента удастся компенсировать реактивную составляющую входного сопротивления антенны и существенно увеличить рабочую полосу частот.

Для имитации металлической опорной плиты и упрощения подготовки опытного образца нижний диск замен на фрагмент фольгированного стеклотекстолита. В реальной антенной решетке отдельного земляного элемента не существует, его роль играет участок общей металлической опорной плиты, на основе которой собрана решетка и часть электронных блоков (с обратной от антенны стороны находятся блоки МШУ, антенные коммутаторы и схема деления мощности).

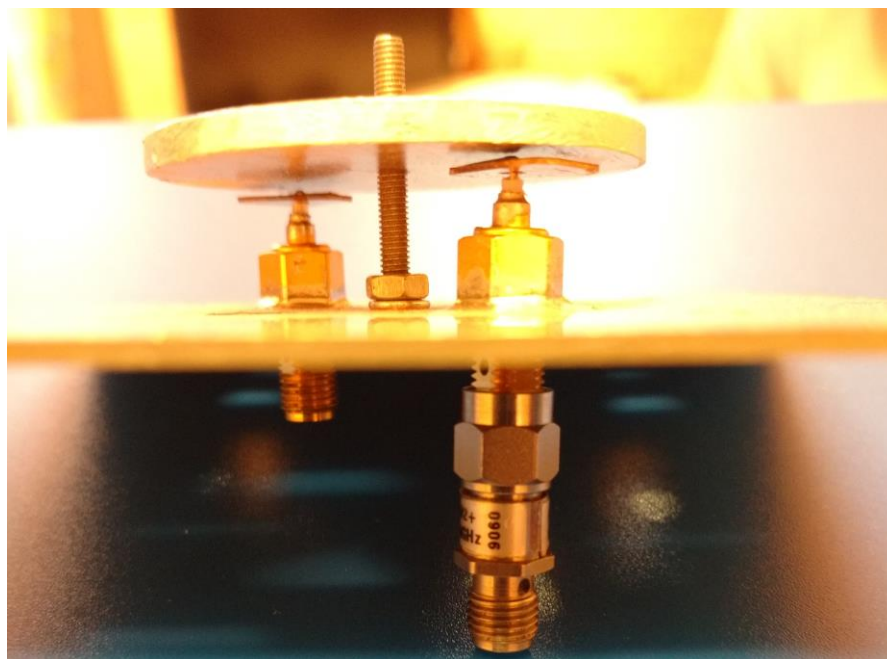


Рис. 1. Внешний вид антенны, вид с торца диска.

Разработанная антенна имеет два режима работы, в первом возбуждающий СКИ подается на оба элемента связи, а во втором - только на один, в то время как второй элемент связи нагружен на согласованную нагрузку. Каждый из этих двух режимов имеет свои особенности, а переключение между ними обеспечивается при помощи дистанционно управляемой схемы коммутации и деления мощности, расположенной в непосредственной близости к антенне.

Рассмотрим эти режимы подробно. В случае одновременного возбуждения обоих элементов связи максимум диаграммы направленности (ДН) направлен перпендикулярно плоскости диска, а полоса рабочих частот полностью соответствует ТЗ. Во втором случае возбуждается только один элемент связи, второй подключен к

согласованной нагрузке, именно такой вариант антенны приведен на рис. 1. При такой схеме возбуждения главный лепесток ДН отклоняется в сторону того элемента связи, к которому подключена согласованная нагрузка, коэффициент усиления уменьшается на 0.2 – 0.3 дБ, а полоса рабочих частот расширяется на приблизительно 500 МГц.

Отклонение главного лепестка ДН позволяет разместить антенную решетку под углом и уменьшить коэффициент отражения от неё, что улучшает условия работы РЛС, например при обработке ПО для подземной радиолокации многократные отражения радиоволн от листа металла площадью почти в половину квадратного метра вблизи границы раздела почва – воздух очень мешали, а размещение антенной решетки под углом к поверхности существенно уменьшило паразитные отражения и повысило параметры РЛС.

Моделирование антенны проводилось в программе CST Microwave Studio при помощи решения уравнений Максвелла во временной области с граничными условиями типа «свободное пространство». Основными параметрами при оптимизации являлись диаметр верхнего диска и его расстояние от элементов связи, их размеры и высота от нижнего экрана были продиктованы технологическими соображениями и не менялись.

Центральный винт осуществляет крепление диска к опорной плите антенной решетки (или, в случае опытного образца – к стеклотекстолиту), его расположение позволяет минимизировать на распределение поля, поскольку в центральной части диска и металла под элементами связи сопротивление мало (в самом центре – стремится к нулю) и наличие там металлической перемычки мало искажает токовое распределение.

На первом этапе моделирования в антенне использовалась только одна пара элементов связи. После оптимизации геометрических размеров антенны был изготовлен опытный образец (его внешний вид приведен на рис.1) и проведено моделирование антенны с двумя парами элементов связи для реализации режим с управляемой поляризацией.

Использование парафазного включения антенного элемента при его возбуждении двумя генераторами СКИ позволяет получить режим пушпульного возбуждения антенного элемента сверхкороткими импульсами. Этот режим интересен возможностью подавления постоянной составляющей униполярного импульса, генератора, а значит, резким повышением КПД излучателя.

После проведенной оптимизации график $|S_{11}|$ принял вид, показанный на рис. 2 линией с длинным штрихом. Полученные при оптимизации параметры антенны соответствуют ТЗ, что позволило перейти к практической реализации антенны с учетом полученных геометрических размеров. График значений $|S_{11}|$ опытного образца, полученных путем измерения модуля коэффициента отражения при помощи анализатора цепей так же приведен на рис.2, но линией с более коротким штрихом. Для наглядности сплошной толстой линией проведено значение $|S_{11}|$ соответствующие КСВН=2.

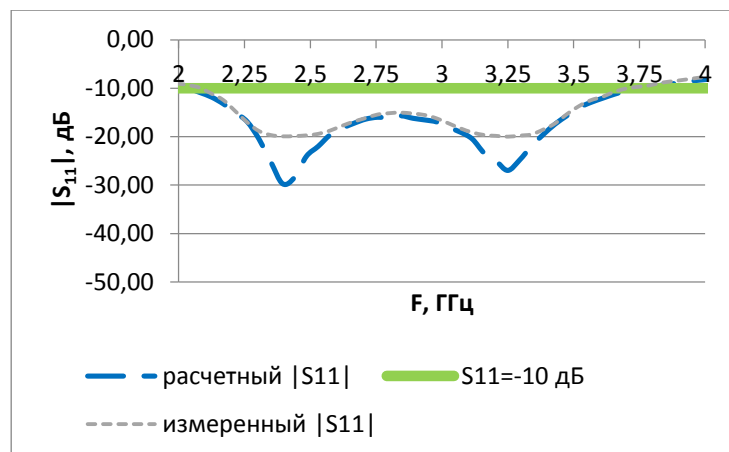


Рис. 2. Расчетная и экспериментальная частотная зависимость модуля коэффициента отражения от входа антенны при подаче сигнала на оба входа.

Как можно видеть из рисунка резонансные пики, возникшие в расчетной модели из-за отсутствия потерь в материале антенны, сгладились, а полоса рабочих частот практически не пострадала. Таким образом, разработанная антенна имеет рабочую полосу частот в 1,6 ГГц, что удовлетворяет условию сверхширокополосности МСЭ.

После того, как было установлено, что расчет согласования антенны в целом соответствует экспериментальным данным, были проведены расчеты диаграммы направленности (ДН) разрабатываемой антенны. Результаты моделирования ДН антенны в импульсном режиме приведены на рис. 3, а аналогичные результаты для центральной рабочей частоты – на рис. 4.

На рис. 3 и рис. 4 видно, что главный лепесток ДН повернут перпендикулярно к прямой, соединяющий элементы связи. Этот момент позволяет подтвердить на стадии компьютерного моделирования возможность управления поляризацией антенны при помощи переключения перпендикулярных пар элементов связи.

Малая направленность данной антенны (сечение главного лепестка ДН по результатам моделирования приведено на рис. 5, а по результатам измерений – на рис. 6) позволяет легко управлять ДН всей решетки при помощи системы управляемых линий задержки.

По результатам моделирования и экспериментального определения параметров ДН установлено, что ширина главного лепестка ДН составляет 75 градуса, коэффициент усиления – 2дБ, различия между экспериментом и расчетом не превышает 3° и 0.2 дБ.

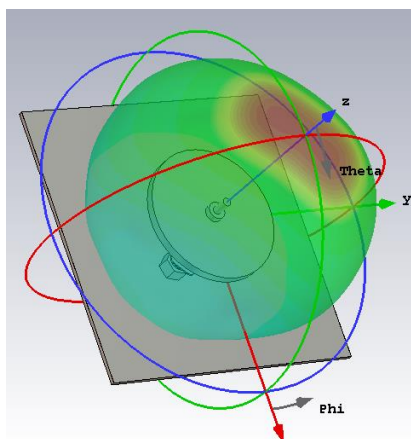


Рис.3. Трехмерное представление диаграммы направленности антенны в режиме излучения короткого импульса.

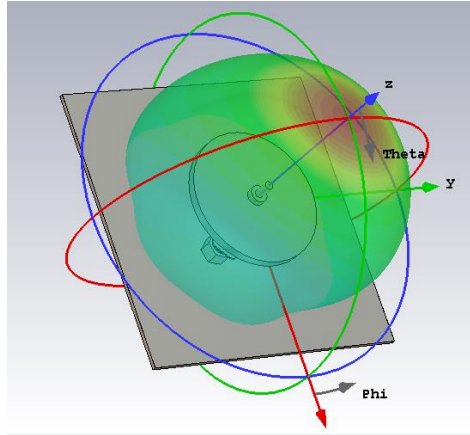


Рис. 4. Трехмерное представление диаграммы направленности антенны в режиме излучения монохромного излучения на центральной рабочей частоте.

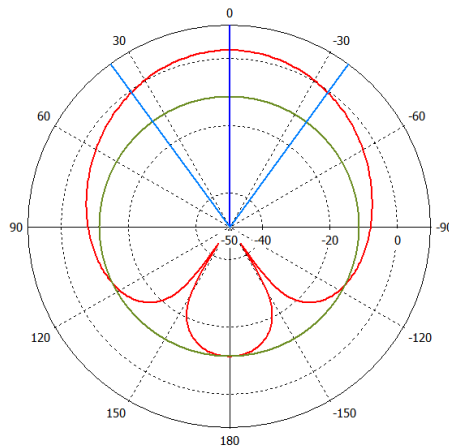


Рис. 5. Сечение главного лепестка ДН в плоскости, перпендикулярной плоскости элементов связи по результатам компьютерного моделирования.

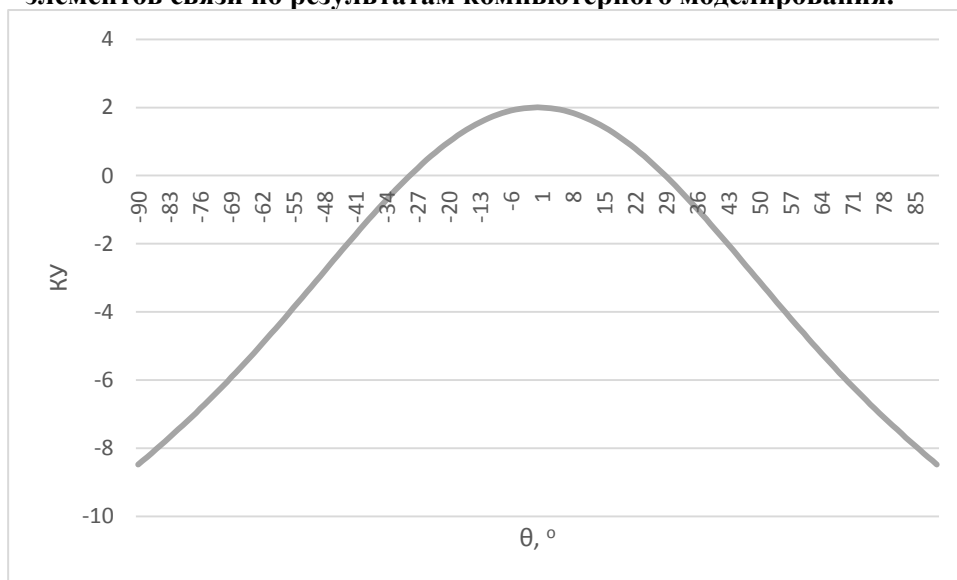


Рис. 6. Сечение главного лепестка ДН в плоскости, перпендикулярной плоскости элементов связи по результатам измерений ДН опытного образца антенны.

Разработанный одиночный элемент был использован для создания сверхкороткоимпульсной сверхширокополосной антенной решетки, с управляемой поляризацией на излучение и прием.

При необходимости данная антенна может быть выполнена в полностью печатном варианте с использованием вспененных диэлектриков с малой диэлектрической проницаемостью.

Литература

1. Gustafsson, M. (2004). Broadband array antennas using a self-complementary antenna array and dielectric slabs.
2. Марков Г.Т. Сазонов Д.М. - Антенны. 1975
3. Y. Mushiake, "The input impedance of a slit antenna", Joint Convention Record of Tohoku Sections of IEE and IECE of Japan, pp. 25-26, June 1948.
4. РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R SM.1755 Характеристики сверхширокополосной технологии