

Проектирование малоэлементной волноводно-щелевой резонансной антенны

Представлены результаты проектирования малоэлементной волноводно-щелевой резонансной антенны сантиметрового диапазона длин волн. Проанализирована проблема взаимовлияний излучающих элементов. Использована недавно разработанная численная методика решения проблемы синтеза антенны. Рассчитаны характеристики ВЦРА.

Ключевые слова: волноводно-щелевая резонансная антенна, сантиметровый диапазон длин волн

Численно спроектирована волноводно-щелевая резонансная антенна (ВЦРА) как антенная решетка (АР) с малым количеством излучающих элементов с малой апертурной площадью. Такие антенны широко используются в системах ПВО и летательных аппаратах, так как имеют малые габаритные размеры и вес. Проектирование таких антенных решеток сопряжено с определенными трудностями, поскольку не существует надежных численных методов расчета и синтеза подобных малоэлементных АР, а с годами требования к параметрам антенн возрастают, сроки разработки сокращаются, и, поэтому, численные методы практически полностью заменяют экспериментальные. Проектирование рассматриваемой антенны включило в себя выбор конструкции, декомпозицию на базовые элементы (резонаторы с излучателями, делитель мощности и подводящие элементы), расчет их характеристик и окончательный синтез характеристик антенны по методике, недавно разработанной на нашем предприятии и успешно примененной в проектировании ряда ВЦРА. Эта численная методика базируется на опыте ранних разработок ВЦРА [1]. Она оказалась эффективной и удалось получить характеристики для рассматриваемой ВЦРА, согласно техническому заданию. Наиболее сложным оказалось расчетное самосогласование уровня боковых лепестков и малого отражения характеризуемого КСВН, которое было решено циклической расчётной процедурой, все более точно учитывающей взаимовлияние излучающих элементов.

Техническое задание

Полоса рабочего диапазона 1.75%

Ширина диаграммы направленности в плоскостях Е и Н по уровню -3дБ не менее 4град

Уровни боковых лепестков в Н/Е плоскости не меньше -23дБ

Коэффициент усиления не менее 26дБ

КСВН не более 2.0

Коротко изложим все этапы проектирования антенны:

Первый этап.

Включил в себя выбор конструкции в виде волноводно-щелевой резонансной антенной решетки с четырнадцатью прямоугольными резонаторами («линейками»), которые содержат от четырех до двенадцати излучателей, и одним делителем мощности с косыми щелями связи.

Поскольку заданный режим работы антенны был задан только суммарный, то это упростило конструкцию делителя мощности. Делитель был выбран единственный и самый простой – волноводный, запитываемый мощностью с одной стороны со входного волновода и закороченный металлической стенкой с другой стороны волноводного делителя.

Второй этап

Декомпозиция антенны на блоки устанавливает, что отдельно считается делитель, резонансные объемы с излучающими элементами, волноводные переходы и повороты.

Третий этап

Расчет характеристик декомпозиционных блоков. Этому этапу предшествует предварительный численный синтез по специальной вычислительной программе прототипа антенны, где реальные щели заменены точечными источниками без учета их взаимовлияния в антенной решетке. Этот предварительный синтез определяет мощности, излучаемые каждой щелью антенной решетки, нужный уровень боковых лепестков диаграммы направленности (ДН), коэффициент направленного действия (КНД) антенны и, соответственно, позволяет далее рассчитывать реальный волноводный делитель для суммарного режима и резонансные объемы в виде прямоугольных резонаторов (линеек) с излучателями в виде щелей. Расчет волноводных делителей и резонаторов (линеек) проведен по методике, развитой на нашем предприятии, имеющей в основе схему «замещения», когда для каждой щели как делителя, так и резонатора, определяется эквивалентные нормированные сопротивления [2,3] и проводимости [3] (пропорциональные мощностям из синтеза прототипа антенны) соответственно, сумма которых равна некоторой постоянной, которая определяет запитку делителя и резонаторов мощностью без отражения. Отметим, что эти сопротивления и проводимости предварительно рассчитываются с помощью трехмерной электродинамической программы для схемных подблоков, включающих как щели связи делителя, так и излучающие щели в открытое пространство. При этом делитель антенны, синтезируемый через предварительно рассчитанные сопротивления, как правило, сразу дает нужные характеристики при расчете с помощью трехмерной программы с небольшой численной доводкой. Для излучающих же щелей антенны невозможно сразу получить правильные проводимости, поскольку имеется сложное взаимовлияние щелей друг на друга в работающей антенне. Проводимости излучающих щелей, определяемые в первом приближении как отдельные излучатели (то есть не учитывается взаимовлияние) и примененные затем в расчете с помощью трехмерной программы характеристик всей антенной решетки, как правило, не дает нужных характеристик диаграммы направленности и согласования (коэффициента отражения от антенны). Подобная ситуация проявилась и в нашем расчете, и это потребовало дополнительных оптимизирующих расчетов, шаги которых складываются в определенную методику, приводящую к положительным результатам. Эта методика уже была успешно использована для расчета ряда антенных решеток на нашем предприятии, кратко она изложена в четвертом этапе.

Четвертый этап

Окончательный синтез характеристик антенны. Имея характеристики антенны первого приближения с проводимостями излучающих щелей, не учитывающих их взаимовлияние, нами было проведено затем циклическое уточнение проводимостей излучающих щелей. При этом схема «замещения» для вычисления проводимостей учитывала взаимовлияние нескольких щелей как в отдельной средней линейке, так и во всей антенне как первого, так и затем последующих приближений. В конечном итоге нами были получены требуемые характеристики антенны как для диаграммы направленности, так и для согласования по подаваемой на антенну мощности. Расчет по трехмерной электродинамической программе позволил учитывать все реальные элементы антенны (резонаторы с излучателями, делитель мощности и подводящие элементы от входного волновода с подаваемой мощностью). Геометрия, используемая в расчете, была сразу переведена в технологические карты для ее изготовления.

Полученные характеристики антенны в рабочей полосе частот

Ширина диаграммы направленности в плоскостях Е и Н по уровню -3дБ 4град

Уровни боковых лепестков в Н/Е плоскости -26дБ

Коэффициент усиления 27дБ

КСВН менее 1,5

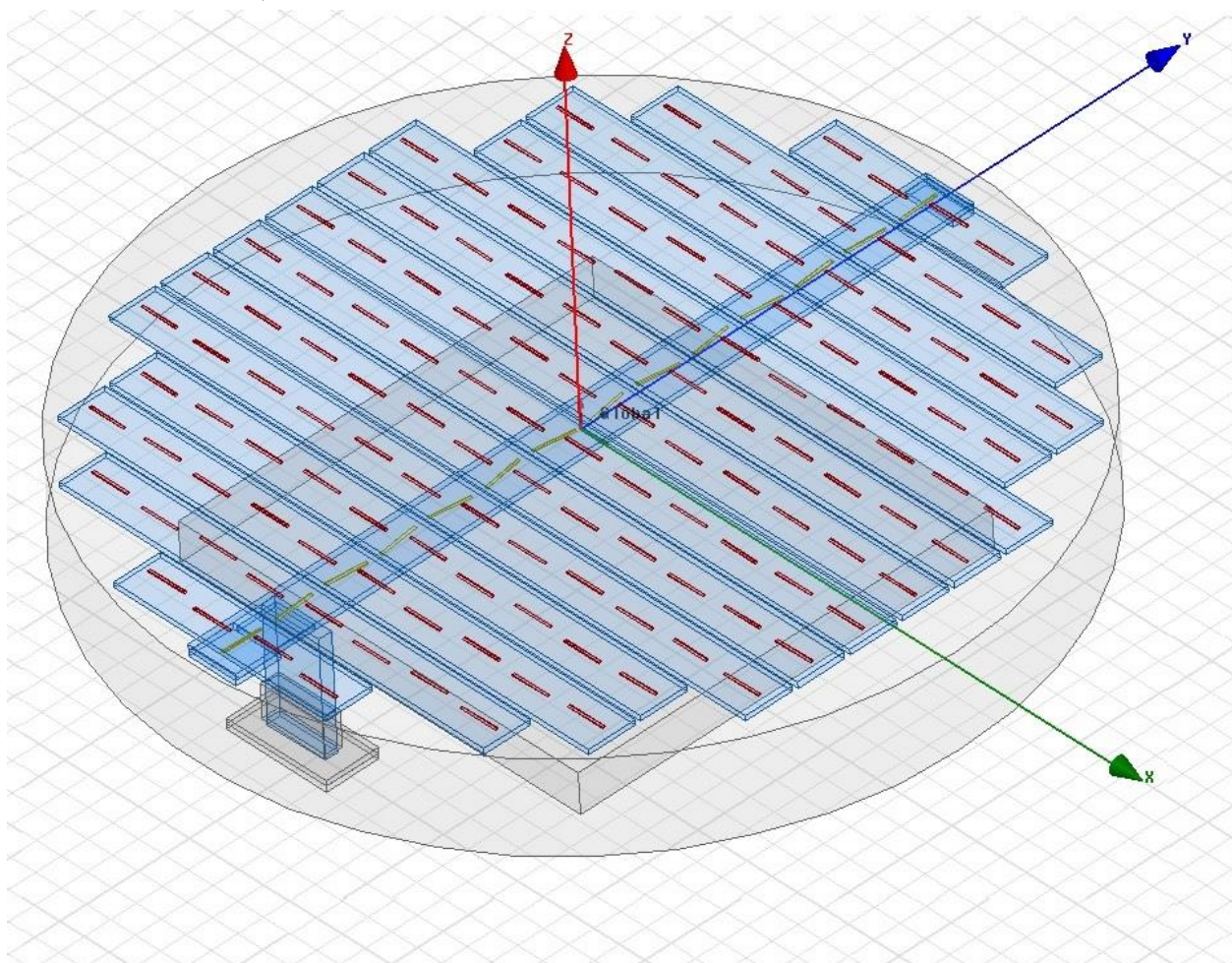


Рисунок 1. - Общий вид антенны ВЦРА

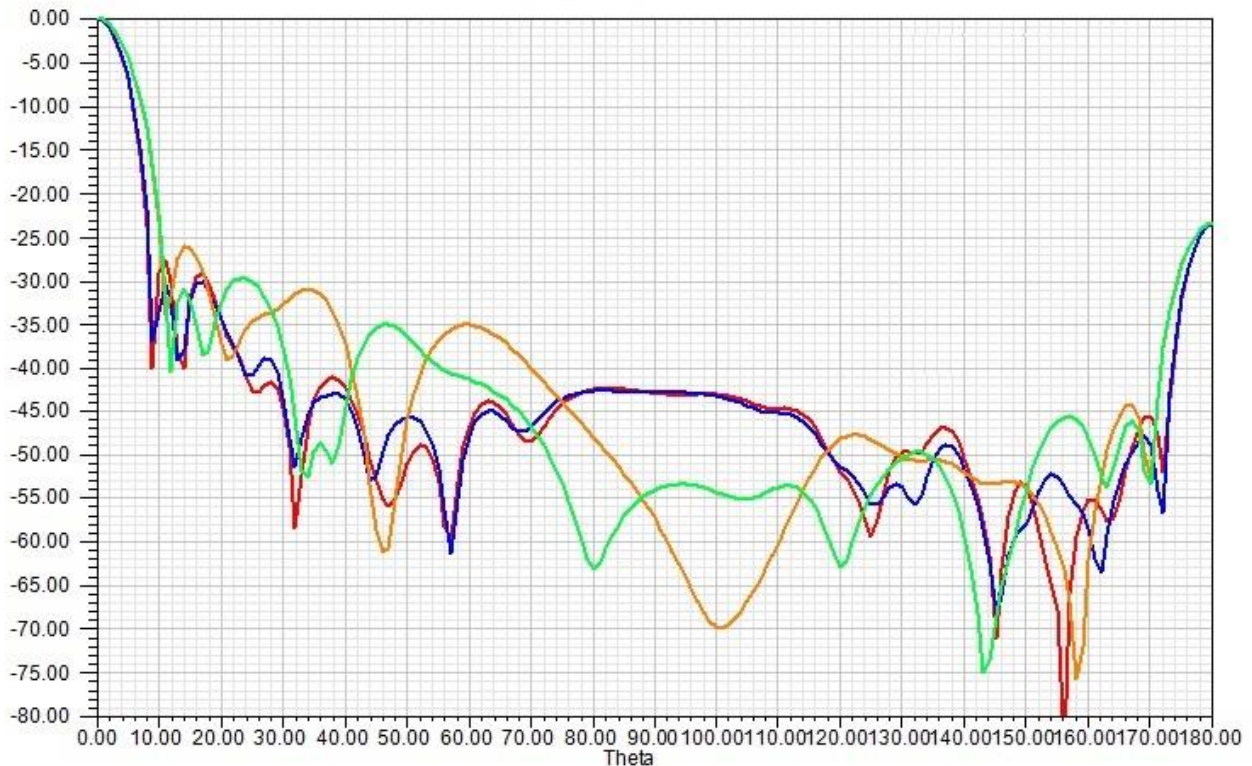


Рисунок 2. - Диаграмма направленности ВЩРА в плоскостях XOZ (оранжевая и зеленая кривые), $\Phi=0, 180$ град., и YOZ (синяя и красная кривые) $\Phi=90, 270$ град.

Таким образом, проведено успешное численное проектирование малоэлементной волноводно-щелевой резонансной антенны СВЧ диапазона с характеристиками, удовлетворяющими техническому заданию. Спроектированная антенна не требует экспериментальных доводок, а геометрия антенны, используемая в расчете, программно переведена в технологические карты для изготовления.

Библиографический список

1. Иванов М.А., Коновалов В.П., Ряполов В.В., Хавкина Т.А. Разработка волноводно-щелевых резонансных антенн (ВЩРА). Доклады XVII научно-технической конференции, 2002г., стр. 299-301.
2. Иванов М.А., Хавкина Т.А., Характеристики устройства связи взаимно перпендикулярных волноводов через наклонную несмещенную резонансную щель, Электронная техника, серия 1 Электроника СВЧ, 1985 4(376), стр. 60-61.
3. Иванов М.А., Хавкина Т.А., Расчет волноводно-щелевых антенн, Электронная техника, серия 1 Электроника СВЧ, 1986 7(391), стр. 51-53.