1. Измеряемые параметры АФАР и методы их измерения
   1. Общие сведения о параметрах антенн

Антенну можно описать по-разному. Например, можно характеризовать антенну по ее массе, которая очень важна в космической или аэрокосмической отраслях. Габариты антенны так же значимы во многих отраслях, где допустимые размеры ограничены, например, когда антенны устанавливают на ноутбуки, мобильные телефоны. Так же антенны можно подразделить по физической структуре и форме, например вибраторные антенны, щелевые антенны, апертурные антенны, антенные решетки и т.д.

Например, антенна может быть описана как: средство для излучения или приема радиоволн; система проводников и диэлектриков для усиления и контроля излучения; преобразователь электромагнитных волн распространяющихся в свободном пространстве в переменное напряжение.

Если взять понятие антенны как преобразователя, антенна может характеризоваться функцией преобразования одной величины в другую.

Типичный набор параметров антенн, подлежащих измерению на различных стадиях разработки, включает в себя характеристики, связанные с пространственным распределением электромагнитного поля, а также энергетические характеристики и ряд других.

К характеристикам, связанным с пространственным распределением электромагнитного поля относятся: амплитудная диаграмма направленности антенны (ДНА) в интересующем секторе углов; ширина главного лепестка ДНА; положение и уровень боковых лепестков; фазовая диаграмма. Измерение этих параметров обычно проводится в двух ортогональных сечениях.

Энергетические характеристики включают коэффициенты усиления, направленного действия, рассеяния и т.д. Кроме того, в необходимых случаях измерению подлежат поляризационные характеристики. Характеристика преобразования включает в себя такие величины как кпд, эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ), эффективная площадь и шумовая температура антенны, которая зависит от условий, в которые помещена антенна. Так же к характеристикам можно добавить диапазон частот, на которых антенна способно нормально функционировать.

Все вышеперечисленные характеристики АФАР не являются постоянными величинами, а зависят от конкретного положения луча в пределах сектора сканирования. В этом заключается принципиальное отличие фазированных антенных решеток от обычных антенн. Отсюда следует, что процедура контроля качественных показателей АФАР в обязательном порядке должна включать измерения в различных точках установки луч (предельным случаем является измерение характеристик в каждой позиции луча в пределах всего сектора сканирования, что далеко не всегда возможно на практике). При этом степень доверия к результатам возрастает с увеличением числа исследованных позиций.

Среди ранее описанных характеристик можно выделить самые важные параметры любой антенны: коэффициенты усиления и направленного действия, диаграмма направленности и поляризация.

1.1.1 Коэффициент направленного действия, коэффициент полезного действия и коэффициент усиления.

Направленные свойства излучения антенн определяются видом из диаграмм направленности. Численная характеристика направленных свойст антенны выражается коэффициентом усиления (КУ) и коэффициентом направленного действия (КНД). Для оценки этих характеристик сравнивают свойства направленной антенны и гипотетического изотропного, т.е. всенаправленного излучателя.

Пусть к – относительная плотность потока мощности, проходящая на единицу телесного угла, которая совпадает с диаграммой направленности по мощности, нормированной к полной излученной мощности. Для направленной антенны получим:

 , (1)

где - ненормированная диаграмма направленности по мощности; – полная излучаемая мощность, равная интегралу от плотности потока мощности, т.е. ненормированной диаграммы , по полному телесному углу.

Для изотропной антенны

(2)

Под КНД понимается найденное для единичного телесного угла отношение относительных плотностей потоков мощности направленной и изотропной антенн (формула 3).

(3)

Если полные излученные мощности обеих антенн равны, то КНД при .

В реальных условиях из-за активных потерь в фидерной системе антенны и в элементах конструкции самой антенны полная излученная мощность может заметно отличаться от мощности генератора , подключенного к ее входу. Зависимость от представлена в формуле 4.

(4)

Величина , равная отношению выходной мощности (т.е. излученной в пространство) к мощности на входе антенны, называется коэффициентом полезного действия (КПД) антенны.

Введем относительную плотность потока мощности , нормированную к полной мощности :

.

По аналогии с (3) выведем коэффициент усиления G антенны, равный отношению относительных плотностей потоков мощности направленной и изотропной антенн, причем для направленной антенны плотность потока нормируется к полной мощности, поступающей на вход антенны, потери в изотропной антенне отсутствуют:

.

С учетом (4), получим:

. (5)

1.1.2 Диаграмма направленности

Диаграмма направленности: графическое представление зависимости интенсивности излучения от угла направления антенны от перпендикуляра.

Способность антенны излучать энергию в заданном направлении очень существенная характеристика, однако конечная пространственная протяженность любой излучающей системы подразумевает, что невозможно для какой либо антенны излучать только в одном направлении.

В любой момент времени антенна излучает то или иное количество энергии в разные стороны. Отсюда следует, что угловая диаграмма этого излучения еще одна существенная характеристика, которая может быть измерена на определенном расстоянии.

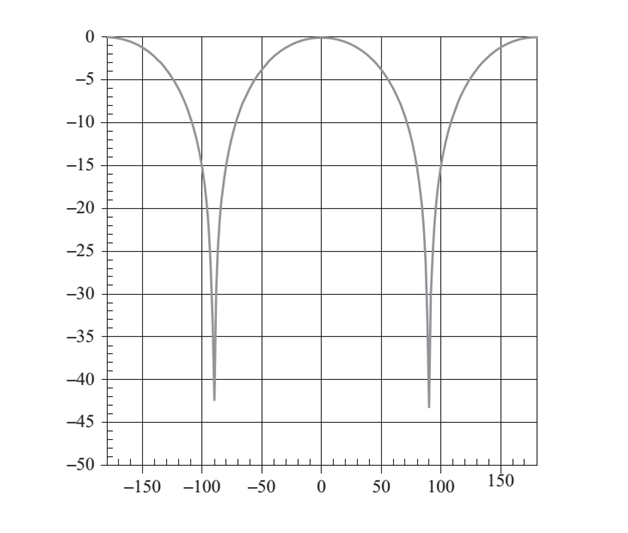
Как говорилось выше, антенна не одинаково излучает во всех направлениях. Однако идея изотропного излучателя полезна для стандартного сравнения с производительностью других антенн. В теории и на практике невозможно создать изотропный излучатель. Таким образом, зависимость отношения излучаемой мощности как функция от угла поворота от базовой точки тоже является важным параметром для антенны.

Любое измерение антенны включает взаимодействие двух антенн. В этом случае ясно, что одна антенна является тестируемой. Вопрос только в том, какой должна быть вторая антенна? В качестве второй антенны, то есть той, что расположена на расстоянии от перовой, принимается бесконечно малый диполь Герца. Это самая элементарная форма антенны, представляющая собой одиночный осциллирующий электрон, которая может выступать в качестве эталона в измерениях и теоретических расчетах.

1.1.3 Поляризация

Поляризация – это направление электрического поля. Если электрическое поле направленно горизонтально, то тогда говорят, что антенна горизонтально поляризованная, где координаты определяются относительно антенны. Так же если электрическое поле направленно вертикально, то тогда говорят что антенна вертикально поляризованная. Следовательно, поляризация антенны определяется как поляризация волны, излучаемая антенной.

В нашем случае поляризация может рассматриваться как один из факторов, который влияет на то, насколько хорошо две схемы могут соединяться друг с другом. Для наглядного представления этого фактора, на рисунке (?) показана реакция линейно поляризованной приемной антенны, если передающая антенна имеет такую же поляризацию в нуле градусов.



1.2 Методы измерения параметров антенн

Измерение перечисленных выше параметров можно проводить в дальней, промежуточной и в ближней зонах излучения. К группе методов тестирования в дальней зоне принадлежат: наземный полигонный (существуют различные варианты), облетные, радиоастрономические и радиометрические. К методам ближней зоны относятся: голографический (стенд ближнего поля), коллиматорный и метод перефокусировки. Классификация основных методов контроля представлена на рисунке 1.

Перед дальнейшим анализом перечисленных методов дадим краткую характеристику каждому из них.

Основные методы контроля качественных показателей антенн

Измерение в дальней зоне

Измерение в промежуточной зоне

Измерение в ближней зоне

Метод вышки

Полигон с падающим рельефом

Сверхшироко-полосный полигон

Метод перефокуси-ровки

Коллиматорный метод

Голографический (стенд ближнего поля)

Рисунок 1 – Основные методы контроля антенн

Прямой методизмеренияв **дальней зоне** наиболее простой с точки зрения идеологии и не требующий сложных вычислений при обработке и интерпретации результатов. Необходимым условием применения метода является достаточное расстояние между вспомогательной и тестируемой

антеннами, чтобы дать возможность сформировать диаграмму направленности последней. Измерения основаны на снятии диаграмм направленности испытуемой антенны и определении их абсолютных характеристик с помощью калиброванной вспомогательной антенны. Обычно такие измерения проводятся на антенном полигоне (на открытом воздухе или

в безэховой камере). Нередко на точность и повторяемость результатов оказывают влияние погодные условия, отражения от земной поверхности и мешающих предметов. Различают «классический» метод вышки, полигон с падающим рельефом и сверхширокополосный полигон.

Метод измерение в **промежуточной зоне (зоне Френеля**) идеологически примыкает к методу измерения в дальней зоне и позволяет уменьшить расстояние между вспомогательной и тестируемой антеннами. Расплачиваться за это приходится усложнением схемы эксперимента, увеличением числа измерений и возрастающим объемом вычислений при обработке первичных результатов.

**Измерение в ближней зоне** – активно развивающееся направление. Оно особенно востребовано, когда речь идет о тестировании АФАР

СВЧ-диапазона и позволяет радикально сократить расстояние между вспомогательной и тестируемой антеннами. Благодаря этому обстоятельству

процесс измерения можно осуществлять в контролируемых условиях (в безэховой камере), что положительно сказывается на точности и повторяемости результатов. Измерения в ближней зоне, как правило, требуют сложной математической обработки первичных экспериментальных результатов. Известно несколько разновидностей измерений такого рода, среди которых можно отметить метод перефокусировки, коллиматорный и голографический методы (стенд ближнего поля). С точки зрения методологии и используемых технических средств перечисленные способы довольно сильно отличаются друг от друга.

Если в тестовом режиме определенным образом изменить положение облучателя зеркальной антенны или скорректировать фазовую программу АФАР, то можно сфокусировать луч в точке, которая будет гораздо ближе к апертуре. Этот прием получил название **перефокусировка**. Диаграммы направленности и другие характеристики испытуемой антенны измеряются на уменьшенном расстоянии. Полученные результаты позволяют судить о характеристиках антенны в дальней зоне (то есть при ее функционировании в штатном режиме).

**Коллиматорный метод –** это еще один популярный метод измерений в ближней зоне. Суть данного метода заключается в создании плоского волнового фронта с приблизительно постоянной амплитудой и фазой в зоне измерения с помощью специальной вспомогательной зеркальной антенны – коллиматора. Такой фронт формируется в непосредственной близости от испытуемой антенны, что позволяет многократно уменьшить размеры антенного полигона по сравнению с аналогичными измерениями в дальней зоне. По этой причине данный способ нередко называют методом компактного полигона. Размеры поперечного сечения и протяженность зоны, где возможно проведение корректных измерений, зависят от диаметра коллиматора. В процессе тестирования

необходимо обеспечивать высокую температурную стабильность. Все это делает метод довольно затратным.

**Голографический метод,** который реализуется на практике при помощи специального измерительного комплекса стенд ближнего поля, считается одним из наиболее перспективных направлений для исследований характеристик антенн. Он особенно подходит для измерений параметров крупногабаритных (по сравнению с возможностями компактного полигона) АФАР СВЧ-диапазона.

Суть рассматриваемого метода состоит в исследовании амплитудно-фазового распределения (АФР) электромагнитного поля вблизи раскрыва тестируемой антенны посредством прецизионного сканирующего зонда. Данные АФР привязываются к текущим пространственным координатам положения зонда. Шаг между соседними отсчетами зависит от рабочей длины волны. По окончании сканирования накопленный массив экспериментальных данных подвергается математической обработке. В результате рассчитываются характеристики поля в дальней зоне [1]. Траектория перемещений сканирующего зонда, а также достоинства и недостатки метода измерений с помощью стенда ближнего поля приведены на рисунке .

Генератор сигналов

Приемник

Ближняя зона

*Ex(x,y),Ey(x,y)*

Угловой спектр волны

*Ax(kx,ky),Ay(kx,ky)*

Угловой спектр волны зонда

*Px(kx,ky),Py(kx,ky)*

Калибровочная антенна

Скорректированный спектра

*Fx(kx,ky),Fy(kx,ky)*

Диаграмма направленности в дальней зоне

*Eθ(r,θ,φ),Eφ(r,θ,φ)*

Измеряемая антенна

Поверхность сканирования

Зонд