

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АНТЕНН МРЛ

В статье исследуются возможные современные методы измерения параметров антенн.

Ключевые слова: антенна, диаграмма направленности, методы измерения.

Введение. Обычно для измерения диаграммы направленности (ДН) антенны применяют метод вращающейся антенны (ВР) или метод неподвижной антенны (НА). При методе ВА исследуемая антенна (ИА) устанавливается на поворотное устройство, а вспомогательная антенна (ВА) – на вышке. Она неподвижна и ориентирована максимумом ДН на ИА. Измерения проводятся в режиме приема или в режиме передачи.

При методе неподвижной антенны ИА неподвижна, и вокруг нее по окружности, в определенной плоскости, перемещается ВА. Как и в первом случае, ИА может работать или в режиме приема, или в режиме передачи. В процессе измерения максимум ДН ВА сохраняет ориентацию на ИА.

Во всех случаях ВА должна находиться в дальней зоне. В обоих методах необходимо поддерживать стабильность работы передатчика, постоянство усиления приемника и обеспечить согласование ИА и ВА по поляризации.

При использовании описанных методов измерения нужно, чтобы расстояние между ИА ВА удовлетворяло условию дальней зоны антенны:

$$r_0 = 2L^2/\lambda, \quad (1)$$

где r_0 – дальность до точки наблюдения, L – размер антенны, λ – длина излучаемой волны.

С увеличением габаритов антенн выполнить это условие становится все труднее. Кроме того, для уменьшения влияния отражения от Земли и окружающих объектов на результаты измерения ДН в свободном пространстве, необходимо, чтобы площадка для антенных измерений была ровной, вблизи нее отсутствовали отражающие объекты. Взаимное размещение антенн должно быть таким, чтобы направление на точку отражения от земли совпадало с направлением нулевого излучения хотя бы одной из антенн [1, 2].

Все это привело к необходимости разработки новых методов антенных измерений, в которых ослаблены или устранены те или иные недостатки указанных методов.

Материалы и методы исследования. В статье рассматриваются возможные методы измерения параметров антенн.

Научная новизна статьи заключается в разработке современных методов измерения и контроля параметров антенны.

Цель данной статьи – разработка методов измерения и контроля параметров антенн.

Изложение основного материала статьи. В данной статье разрабатываются новые методы антенных измерений. Эти методы можно разделить на две группы: методы измерения параметров антенн на сокращенных расстояниях и радиометрические методы.

Методы измерения параметров антенн на сокращенных расстояниях. К этим методам относятся: метод фокусировки; коллиматорный метод; методы определения параметров антенн по измерениям поля в ближней зоне.

Метод фокусировки состоит в том, что в раскрыве исследуемой антенны устанавливают (дополнительно к исходному) квадратичное фазовое распределение вида

$$\varphi(z) = \frac{Kz^2}{2r_\phi} \cos^2 \theta_\phi, \quad (2)$$

где z – координата раскрыва; $K = 2\pi/\lambda$; r_ϕ , θ_ϕ – координаты точки фокусирования, расположенной в зоне Френеля.

Это позволяет в окрестности точки фокусировки добиться компенсации квадратичной фазовой составляющей, присутствующей в разности хода волн от элементарных излучателей до точки наблюдения в зоне Френеля. Поэтому фазовые соотношения для полей получаются такими же, как и для дальней зоны, когда лучи от системы до точки наблюдения параллельны.

Угловое распределение поля вблизи точки фокусировки повторяет угловое распределение поля в дальней зоне антенны с исходным амплитудно-фазовым распределением (АФР).

Коллиматорный метод. В этом методе используется тот факт, что при размещении передающей ВА в дальней зоне ИА, падает плоская однородная волна. ДН ИА определяет зависимость амплитуды сигнала на выходе приемника от угла прихода этой волны. Плоскую волну можно получить так же с помощью коллиматора, (линзы или зеркала), в фокусе которого находится ВА рис.1.

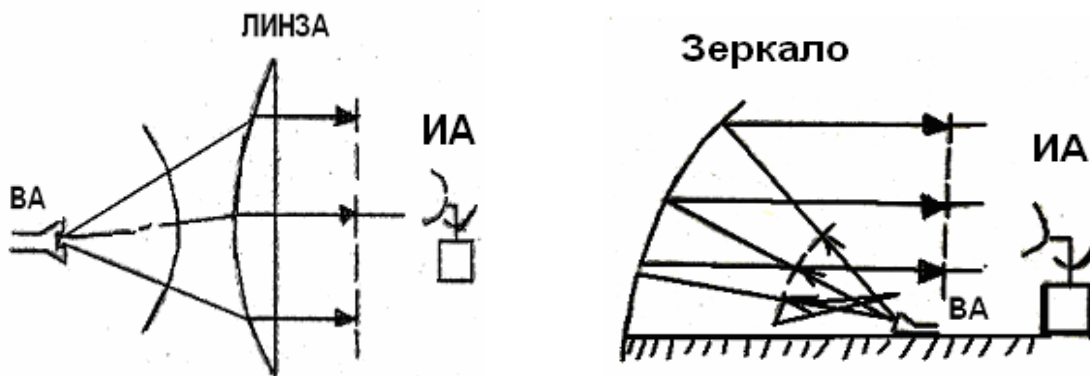


Рис.1 - Блок-схема установки при измерении параметров антенны коллиматорным методом

Сферический или цилиндрический фронт излучаемой ВА волны преобразуется коллиматором в плоский. ДН ИА измеряется в режиме приема методом вращающейся антенны. Этот метод является эффективным и экономичным при испытании серийных антенн на полигонах заводов-изготовителей.

Метод ближнего поля. При этом методе производится измерение поля в ближней зоне антенны на некоторой поверхности (плоской, цилиндрической или сферической) и затем путем соответствующей обработки результатов этих измерений определяются параметры антенны в дальней зоне.

Ближнее поле антенны может быть измерено прямым методом, путем сравнения амплитуды и фазы исследуемого поля с эталонными (опорными значениями). Однако этот метод становится сложным, если требуется получить высокую точность регистрации поля. Поэтому широкое применение находит голографический метод записи поля, который относится к косвенным методам измерения АФР. Одна из возможных схем измерения радио-голограммы представлена на рис. 2.

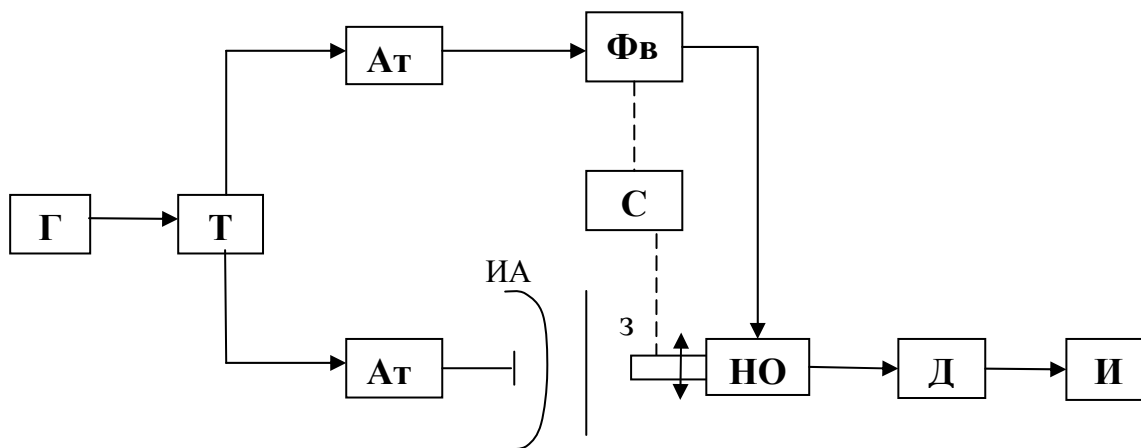


Рис. 2 – Блок-схема для измерения радиоголограммы

СВЧ сигнал от генератора Г через Т-мост подводится к ИА, а также через фазовращатель (ФВ) и направленный ответвитель (НО) вводится в измерительный тракт в качестве опорного. Зонд 3 перемещается в раскрыве по заданному закону с помощью сканера С. Суммарный сигнал поступает на квадратичный детектор Д и регистрирующий прибор И. Аттентуаторы Ат и ФВ предназначены для обеспечения необходимого соотношения амплитуд и фаз измеряемого и опорного сигналов. В соответствии с законом перемещением зонда, ФВ изменяет фазу опорного сигнала по линейному закону. В данной схеме опорная волна формируется не в пространстве (как зачастую это делается в других схемах), а вводится непосредственно в измерительный тракт зонда.

Обработка АФР или радиоголограммы, с целью получения характеристик ИА в дальней зоне, производится обычно с помощью ЭВМ. В зависимости от типа поверхности, на которой измеряют АФР, применяются те или иные алгоритмы обработки информации. Наиболее простым получается алгоритм при измерении ближнего поля антенны на плоскости. В этом случае для расчета ДН используют алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ). Пространственная ДН представляется на выходе ЭВМ в картографическом изображении (в виде линий постоянного уровня), а ДН в главных плоскостях – в виде кривых (обычно в прямоугольной системе координат) в линейном и логарифмическом масштабах. Рассчитываются (коэффициент направленного действия), фазовые и поляризационные диаграммы, пеленгационные характеристики, т.е. производится полная аттестация антенны. Иногда метод регистрации ближнего поля антенны с последующей обработкой информации на ЭВМ называют методом антенных измерений.

С точки зрения контроля характеристик антенны в процессе эксплуатации РЛС зачастую оказывается достаточным измерение АФР (или радиоголограммы) в раскрыве антенны. Если отклонения измеренного поля от эталонного не превышают допустимых значений, то, очевидно, отпадает необходимость в определении ДН антенны и ее параметров.

Для текущего контроля исправности антенны зачастую можно ограничиться проверкой работоспособности ее наиболее ненадежных элементов или узлов (например, в фазированных антенных решетках – токов фазовращателей или усилителей). Однако такой оперативный контроль внутренних параметров элементов антенны необходимо периодически дополнять контролем внешних характеристик антенны (ДН, КНД и т.д.), который является наиболее полным, так как позволяет учесть влияние возможных деформаций поверхности антенны, подстилающей поверхности и других факторов, не охваченных внутренним контролем.

Радиометрические методы измерения параметров антенн. Радиометрические методы антенных измерений основаны на использовании в качестве вспомогательной передающей антенны либо космических источников радиоизлучения (радиоастрономические методы), либо искусственных источников шумового радиоизлучения, так называемых «черных дисков». Эти источники излучают сигналы сходные по своей структуре с внутренними шумами приемника. ИА работает в режиме приема шумового поля, что приводит к изменению ее шумовой температуры.

Для измерения шумовой температуры антенны используются радиоастрономические методы. Для этого используются дискретные космические источники радиоизлучения (КИР). В качестве таких источников используются наиболее мощные КИР (Солнце, Луна, Кассиопея, Лебедь-А, Телец-А, Дева-А). Распределение яркостной температуры КИР является сложной функцией угловых координат. Поэтому для аналитического описания шумовой температуры этих источников чаще всего используют двумерную функцию Гаусса или столообразную функцию. Первая функция хорошо аппроксимирует яркостную температуру Тельца-А, Девы-А, а вторая – яркостную температуру Солнца и Луны. Спектральная плотность потока мощности КИР весьма стабильна и табулирована с высокой точностью (2-5%), что важно для антенных измерений. Точность последних в значительной мере зависит от угловых размеров источника. Различают два случая:

- 1) угловые размеры КИР значительно меньше ширины ДН исследуемой антенны, которые называют точечными;
- 2) угловые размеры КИР соизмеримы или больше ширины ДН исследуемой антенны, которые называют протяженными.

Траектории движения КИР на небесной сфере хорошо изучены. Их координаты могут быть рассчитаны с большой точностью для любого момента времени, поэтому они используются для юстировки антенн. Ряд источников, например, Кассиопея-А, являются незаходящими для Северного полушария, что позволяет использовать их для измерения в любое время суток. Для траектории перемещения таких источников характерным является наличие точек кульминации (верхней и нижней) и точек поворота. В области этих точек источник перемещается соответственно только по азимуту или только по углу места, что используется для измерения ДН в азимутальной плоскости и плоскости угла места.

Измерения параметров антенн методом «черного диска». Метод «черного диска» относится к наземным методам измерения. В качестве вспомогательной антенны используются искусственные источники шумового поля – «черные диски» (ЧД). Последние представляют собой щиты, изготовленные из поглощающих электромагнитные волны материалов (черное тело). Яркостная температура источника равна температуре окружающей среды, т.е. постоянна вдоль диска.

При измерении «черные диски» необходимо помещать в дальней зоне антенны под углами 15-30° к горизонту для уменьшения влияния Земли на результаты измерений. Диаметр диска, с одной стороны, должен быть достаточно большим для создания приемлемого уровня шумового сигнала у ИА, а с другой стороны – достаточно малым, чтобы его считать точечным источником.

Методика измерений параметров антенн по ЧД такая же, как и по КИР, и состоит в измерении с помощью радиометра приращения шумовой температуры ΔT_a антенны при приеме излучения от источника с известной яркостной температурой. Кроме того, этот метод обладает рядом дополнительных возможностей.

ЧД хорошо согласованы с окружающей средой, что позволяет помещать их вблизи антенны, не искажая распределение поля в ней. Поэтому, используя ЧД, можно измерить

характеристики антенны в ближней зоне, например, амплитудное распределение (АР) в раскрыве антенны или долю мощности, рассеиваемой тем или иным элементом конструкции антенны.

Методика измерения АР состоит в следующем. Антенна ориентируется в «холодную» область (зенит). Затем в раскрыв антенны помещается элемент из поглощающего материала. Для антенны с прямоугольным раскрывом и разделяющимся АФР материал представляет собой полосу, которая перемещается вдоль каждой из прямоугольных координат. На рис. 3 показано размещение элемента поглощающего материала для измерения АР вдоль оси ОХ. Если поле Е в раскрыве можно считать постоянным по амплитуде в пределах ширины полосы, то зависимость приращения шумовой температуры антенны имеет вид:

$$\Delta T_a(y) = AE^2(y),$$

где

$$A = \Delta T_{a_{\max}} / E^2_{\max}.$$

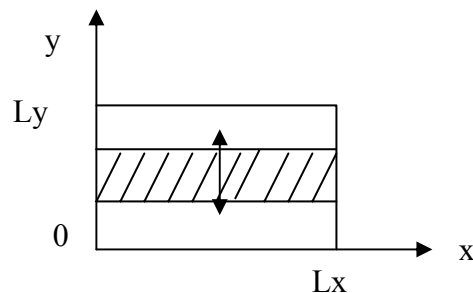


Рис.3 – Размещение элемента поглощающего материала

Аналогично производится измерение АР вдоль оси ОУ.

Для оценки влияния того или иного элемента конструкции антенны на ее эффективность антенна, как и прежде, ориентируется в зенит, измеряется ее шумовая температура. Затем исследуемый элемент конструкции закрывается поглощающим материалом и вновь измеряется шумовая температура антенны. После обработки результатов измерений находят коэффициент, характеризующий величину энергии, рассеиваемой на этом элементе.

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

1. Предложены новые методы измерения и контроля параметров антенн МРЛ.
2. Разработана структурная схема для измерения радиоголограм.
3. Предложена методика измерения параметров антенн радиометрическим методом.

Целью дальнейших исследований является разработка технических устройств для реализации предложенных методов.

Список литературы

1. Фрадин А.З. Рыжков Б.В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств. – М.: Связь, 1972.- 150 с.
2. Захарьев Л.Н., Леманский А.А. и др. Методы измерения характеристик антенн СВЧ. – М.: Радио и связь, 1985.- 203 с.

Тенденції розвитку методів вимірювання параметрів антен МРЛ. Вельміскін Д.І., Пустовіт Т. М.

В статті досліджуються можливі сучасні методи вимірювання параметрів антен.

Ключові слова: антена, діаграма направленості, методи вимірювання.

Facilities of meteorology radars measurement ten tons development. Velmiskin D.I., Pustovit T.M.

Possible contemporary methods of measurement of antennas parameters are investigated in this article.

Key words: antenna, direct on diagram, measurement methods.