

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН

Ю.Н.Калинин, ООО «Научно-производственное предприятие «ТРИМ»»

П.В.Миляев, ООО «Научно-производственное предприятие «ТРИМ»»

В докладе рассматриваются методы и средства измерения радиотехнических характеристик антенн в дальнем и ближнем поле (плоское, цилиндрическое и сферическое сканирование). Отмечены особенности и области применения различных методов. Приводятся структурные схемы измерительных комплексов и основные алгоритмы обработки сигналов. Все рассмотренные методы измерений реализованы в антенных измерительных комплексах производства НПП "ТРИМ", функционирующих на многочисленных отечественных и зарубежных предприятиях.

Требования к характеристикам и параметрам современных антенных систем постоянно растут. Развитие антенной техники в этих условиях невозможно без соответствующего (а желательно – опережающего) развития средств антенных измерений.

За рубежом качественный скачок в теории и технике антенных измерений произошел на рубеже 80-х – 90-х гг. В первую очередь это касается развития методов и средств измерения антенн в ближней зоне излучения.

Этот скачок был обусловлен, главным образом, интенсивным развитием средств вычислительной техники. Рост производительности и объемов памяти вычислительных средств позволил решить основную в то время проблему измерений в ближнем поле – необходимость обработки больших объемов измерительной информации в приемлемые временные сроки. В антенных измерительных комплексах ближнего и дальнего поля обычный персональный компьютер взял на себя все основные функции управления аппаратурой комплекса, сбора и обработки данных, отображения и каталогизации результатов.

Начиная с середины 80-х гг. появляется и в 90-х гг. переживает настоящий бум своего развития новый класс измерительных приборов – высокоточные векторные анализаторы цепей. Появление этих приборов стало не менее важным фактором, определившим качественный сдвиг в деле антенных измерений за рубежом.

В нашей стране до недавнего времени вопросам антенных измерений уделялось недостаточное внимание. Измерительная база, созданная в ведущих российских институтах и на предприятиях военно-промышленного комплекса в основном в 70-х – 80-х гг. физически и морально устаревала.

Практически единственным предприятием в современной России, которое, начиная с 1997 г., на уровне ведущих мировых компаний занимается комплексным освоением и развитием современных методов измерения антенн, разработкой и производством автоматизированных антенных измерительно-вычислительных комплексов (АИВК), является научно-производственное предприятие «ТРИМ» (г.Санкт-Петербург).

За эти годы предприятием разработано, изготовлено и поставлено заказчикам более семидесяти АИВК, реализующих практически все известные на сегодняшний день методы измерения антенн. Некоторые из этих комплексов уникальны и не имеют аналогов в мире.

Особенностью антенных систем, как объектов измерения, является их чрезвычайное многообразие по массогабаритным показателям, конструктивным особенностям, характеристикам направленности, частотному диапазону и, наконец, доступным для измерения условиям.

Исходя из комплексного анализа перечисленных факторов, на начальном этапе разработки АИВК выбирается метод измерения, подходящий для измерения данной антенны (или набора антенн) в заданных условиях, определяется состав и структура измерительного комплекса.

Классификация методов измерения антенн и связанных с ними типов АИВК показана на рис.1.

По типу используемого зондирующего сигнала все АИВК подразделяются на комплексы для измерения в частотной области и комплексы для измерения во временной области.

Измерения в **частотной** области – это измерения с помощью обычных монохроматических сигналов. Основу измерительного комплекса в данном случае составляет векторный анализатор цепей, как правило, производства компаний Agilent или Rohde&Schwarz.

Измерения во **временной** области – это измерения с помощью импульсных сигналов малой длительности (порядка десятков-единиц пикосекунд), имеющих абсолютную ширину спектра частот Δf порядка десятков гигагерц и относительную широкополосность $\Delta f/f_0 \rightarrow 2$ (f_0 – средняя частота).

Основу радиотехнической аппаратуры АИВК в этом случае составляют генератор сверхкоротких импульсов и стробоскопический приемник – собственные разработки НПП "ТРИМ".



Рис.1. Классификация методов измерения антенн и типов АИВК.

Основным преимуществом измерений во временной области является возможность временной селекции мешающих отражений. В некоторых случаях это позволяет отказаться от использования дорогостоящих безэховых камер и радиопоглощающих покрытий и устанавливать комплекс в обычных помещениях, поскольку отражения от стен, пола и потолка разделяются по времени с полезным сигналом.

По характеру используемой для измерения области излучения антенны все методы измерения подразделяются на методы дальней, квазидальней и ближней зоны.

При измерениях в **дальней** зоне [1] АИВК может располагаться на открытом полигоне, в безэховой камере и, в некоторых случаях, в обычном лабораторном помещении. При этом расстояние между исследуемой и вспомогательной антеннами должно составлять не менее $2D^2/\lambda$ (D – максимальный размер антенны, λ - длина волны).

Структурная схема измерительного комплекса дальней зоны с расстоянием между вспомогательной и исследуемой антеннами 2.5 км, предназначенного, в основном, для измерения характеристик остронаправленных зеркальных антенн систем спутниковой связи, показана на рис.2.

Особенностями АИВК, обусловленными большой длиной полигона, являются:

- синхронизация частот генератора тестовых сигналов и векторного анализатора цепей по каналу GPS;
- наличие отдельного радиоканала для передачи сигналов синхронизации, управления и голосовой связи между передающей и приемной частями комплекса;
- использование на выходе генератора тестовых сигналов твердотельного усилителя мощности в диапазоне 30...50 ГГц.

Сигнал для опорного приемника векторного анализатора принимается дополнительной антенной опорного канала, в качестве которой используется эталонная антенна. Измеренная диаграмма направленности автоматически нормируется в единицах коэффициента усиления.

Для повышения точности измерений путем усреднения мешающих отражений трехкоординатное опорно-поворотное устройство (азимут – угол места – крен) установлено на продольно-поперечном слайдере. За счет использования быстродействующего СВЧ-переключателя возможно одновременное измерение 4-х каналов исследуемой антенны. При необходимости для повышения отношения сигнал/шум используется малошумящий усилитель.

Основные характеристики комплекса:

- диапазон частот 1...50 ГГц;
- максимальная нагрузка на ОПУ 2000 кг*м;
- число координат ОПУ 3 (азимут, угол места, крен);
- точность позиционирования $\pm 0.005^\circ$;

- интервал перемещения ОПУ на слайдере 0.6 м (продольное);
- мощность излучения 20...30 дБм;
- чувствительность приемника –80...–100 дБм;
- инструментальные погрешности измерения:
 - амплитудная ДН ± 1 дБ на уровне –40 дБ;
 - коэффициент усиления ± 0.3 дБ;
 - коэффициент эллиптичности ± 0.3 дБ.

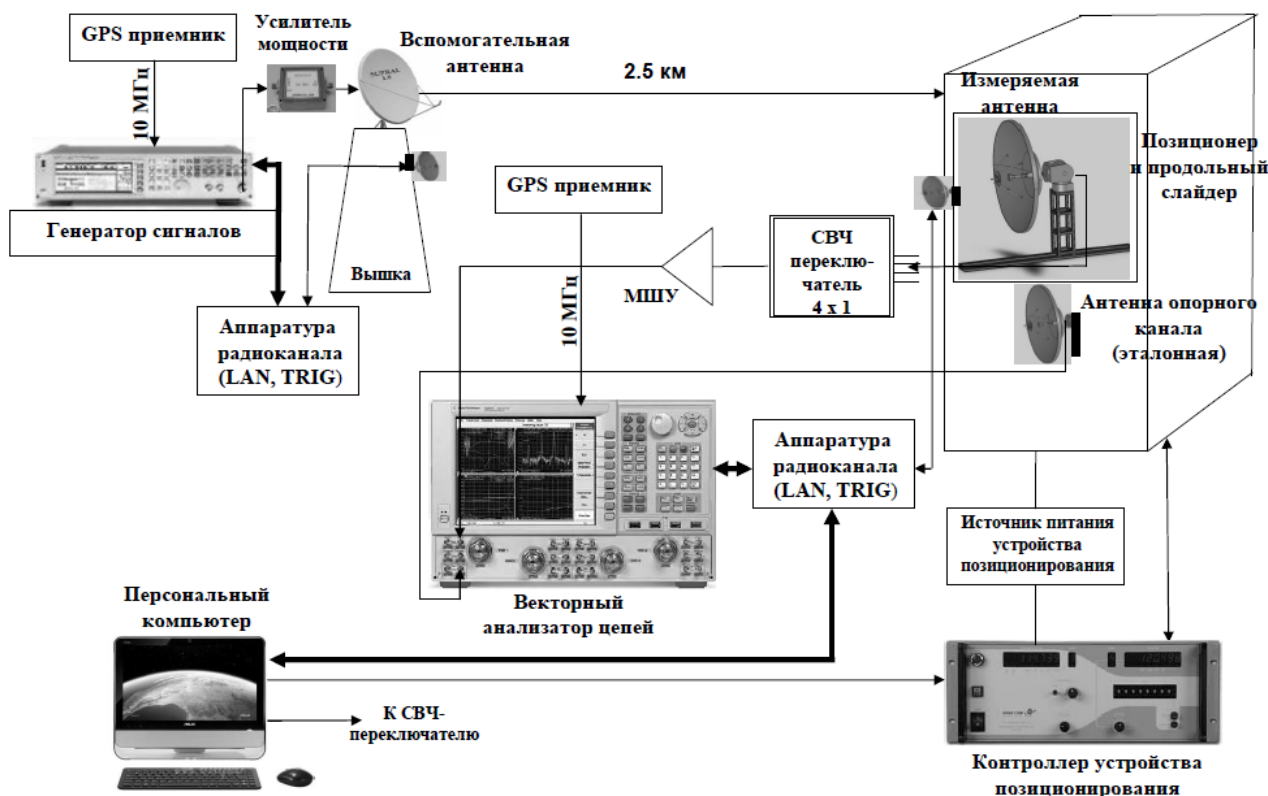


Рис.2. Структурная схема АИВК дальней зоны с протяженностью полигона 2.5 км.

Измерения в **квазидальней** зоне выполняются с помощью коллиматора, представляющего собой вырезку параболического рефлектора большого размера. При облучении из фокуса коллиматор формирует вблизи своего раскрыва участок плоского волнового фронта – рабочую зону, в которую помещается исследуемая антенна. Размеры рабочей зоны составляют, как правило, 30...40% от геометрических размеров коллиматора. Коллиматоры размещаются в безэховых камерах (БЭК). БЭК с коллиматором и другим оборудованием для измерения характеристик антенн часто называют компактным полигоном.

Измерения в **ближней** зоне выполняются на расстоянии порядка $3...5\lambda$ от излучающей поверхности антенны. При этом небольшая слабонаправленная антенна-зонд перемещается вблизи исследуемой антенны по заданной поверхности сканирования. В зависимости от структуры ближнего поля и, соответственно, характера диаграммы направленности используются комплексы планарного (плоского), цилиндрического и сферического сканирования.

Комплексы **планарного** сканирования [2] используются для измерения характеристик направленных антенн с коэффициентом усиления (КУ) порядка 15 дБ и выше (рупорные, зеркальные антенны, фазированные антенные решетки). Для этих типов антенн можно считать, что практически все излучаемое ими поле сосредоточено на некоторой плоскости вблизи раскрыва антенны.

При измерениях в плоском сканере исследуемая антенна устанавливается стационарно, а небольшая вспомогательная слабонаправленная антенна-зонд механически перемещается вдоль плоской поверхности вблизи раскрыва по координатам X и Y, производя измерения поля в узлах заданной равномерной прямоугольной сетки с шагом $\Delta x = \Delta y \leq \lambda/2$. По измеренному амплитудно-

фазовому распределению рассчитывается диаграмма направленности и другие характеристики антенны.

Пример измерений в плоском сканере ФАР X-диапазона размером 3.5x3.5 м приведен на рис.3.

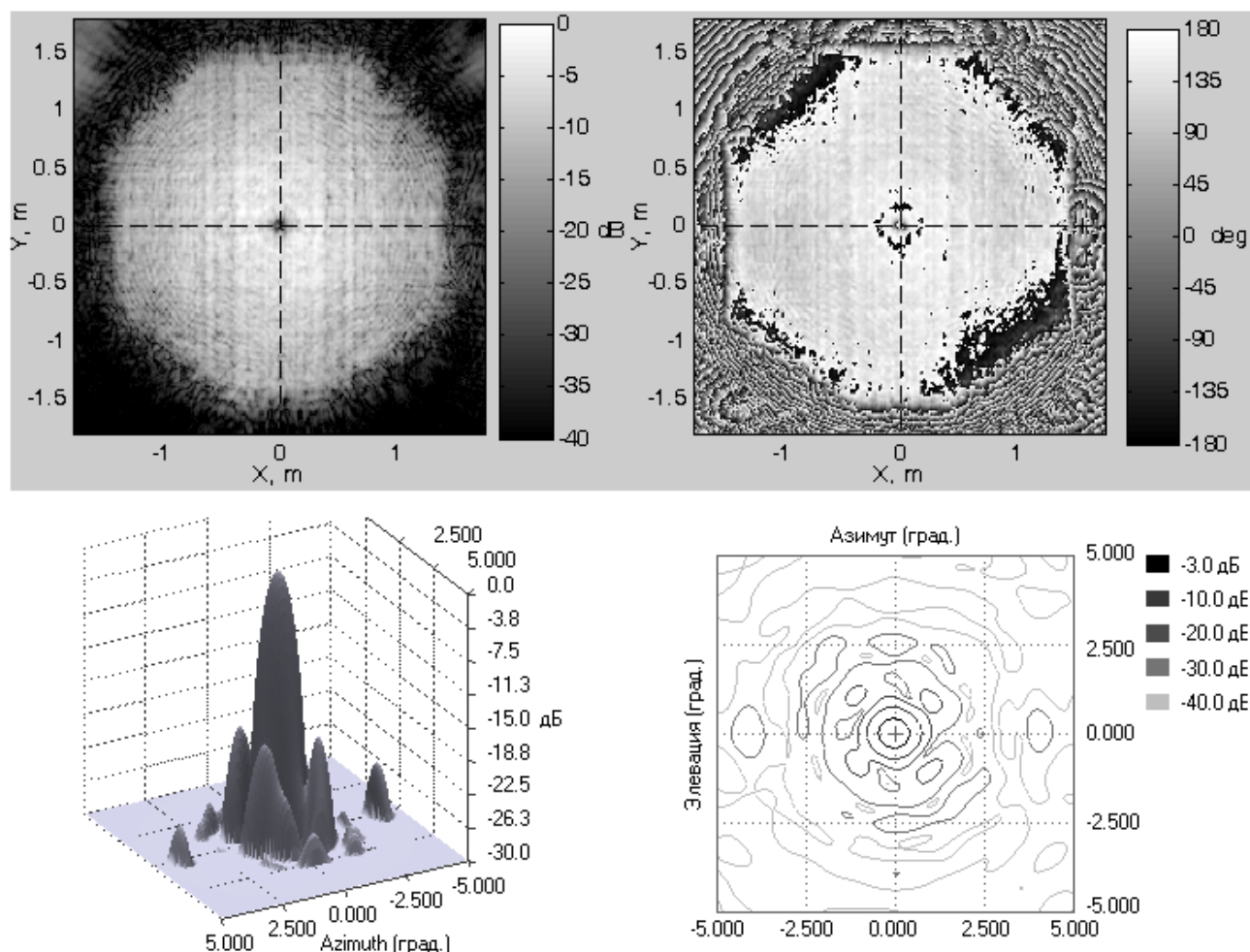


Рис.3. Измеренное амплитудно-фазовое распределение ФАР X-диапазона размером 3.5x3.5 м и рассчитанная диаграмма направленности в аксонометрическом и картографическом представлении.

Комплексы **цилиндрического** сканирования используются для измерения антенн с диаграммами направленности веерного типа – широкими в одной плоскости и узкими в другой.

Комплексы **сферического** сканирования [3] применяются преимущественно для измерения характеристик слабонаправленных антенн (спиральные, логопериодические, открытые концы волноводов, облучатели зеркальных антенн и т.п.). Однако данный метод измерения является универсальным и может использоваться для измерения всех типов антенн. В частности, одним из применений этого метода является измерение характеристик ФАР с обтекателями.

Литература

1. Evans G. Antenna measurement techniques. – Artech House Inc., London, 1990.
2. Parini C., Gregson S., McCormic J., Daniel J. Theory and Practice of Modern Antenna Range Measurements (Electromagnetic waves series, v.55). – Institution of Engineering and Technology, London, 2015.
3. Hansen J. Spherical near-field antenna measurements theory and practice (Electromagnetic waves series, v.26). – Institution of Electrical Engineers, London, 1988.