

# ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕНН МЕТОДАМИ БЛИЖНЕЙ И ДАЛЬНОЙ ЗОНЫ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ

Ю.Н.Калинин, П.В.Миляев, А.П.Миляев, В.Л.Морев, М.В.Попиков

Научно-производственное предприятие "ТРИМ СШП Измерительные Системы"

e-mail:info@trimcom.ru

Традиционным направлением, сложившимся на протяжении многих лет в технике антенных измерений, является использование монохроматических измерительных сигналов. Измерения с помощью монохроматических сигналов называются также измерениями в частотной области.

Возможен другой подход к измерению характеристик антенн – измерения во временной области с помощью импульсных сигналов малой длительности, обладающих большой абсолютной и относительной шириной спектра ( $\Delta f/f_0 \rightarrow 2$ ,  $\Delta f$  – абсолютная ширина спектра,  $f_0$  – средняя частота) (рис.1).

Этот подход получил интенсивное развитие в последние годы и привел к появлению нового типа измерительных систем – сверхширокополосных автоматизированных измерительно-вычислительных комплексов (СШП АИВК).

СШП АИВК производства НПП ТРИМ внесены в Государственный Реестр РФ в качестве средств измерений как общего, так и военного назначения.

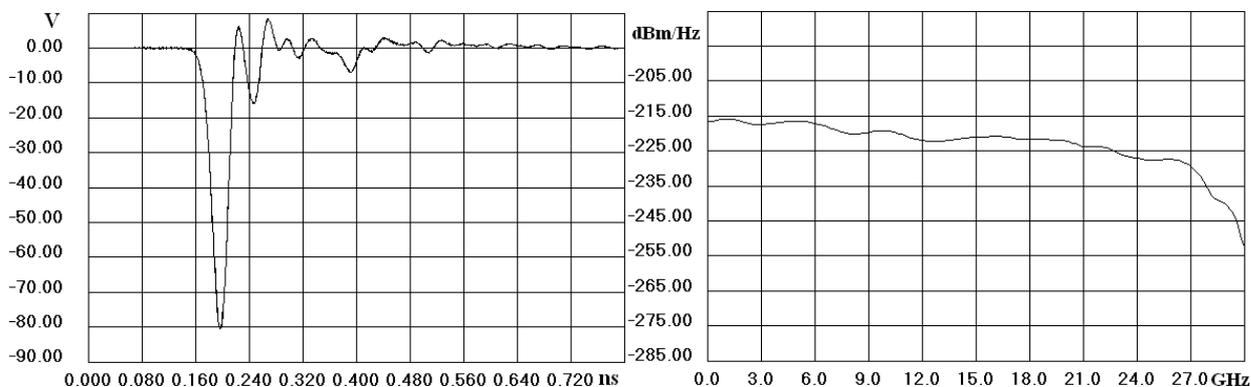


Рис.1. Сигнал на выходе генератора СШП импульсов и его спектральная плотность.

В докладе рассматриваются общие принципы построения СШП АИВК, основные характеристики разработанных в настоящее время комплексов, алгоритмы обработки сигналов при измерении различных характеристик и параметров антенн методами ближней и дальней зоны, состав и структура программного обеспечения.

СШП АИВК используются при измерении характеристик антенн всеми наиболее распространенными методами: в дальней зоне, в квазидальней зоне – с помощью коллиматора (вспомогательной зеркальной антенны большого размера, формирующей плоскую волну непосредственно вблизи своего раскрытия), и в ближней зоне – с помощью плоского, цилиндрического или сферического сканера.

Антенные измерительные комплексы, использующие сверхкороткие импульсные сигналы, обладают следующими основными преимуществами перед традиционными узкополосными системами:

- оперативность проведения измерений, обусловленная широким спектром частот

зондирующего сигнала (практически от десятков МГц до десятков ГГц), позволяющим проводить измерения радиотехнических характеристик антенн одновременно во всей полосе частот без перестройки передающей и приемной систем;

- возможность временной селекции мешающих отражений, обусловленная тем, что все измерения производятся на ограниченном интервале времени (во временном "окне"), длительность которого определяется длительностью импульсной характеристики измеряемой антенны.

Последнее обстоятельство позволяет:

- в комплексах дальней зоны – отказаться от использования дорогостоящих безэховых камер и устанавливать комплекс в обычных помещениях, поскольку отражения от стен, пола и потолка разделяются по времени с полезным сигналом и временное "окно", в котором проводятся измерения, может быть выбрано таким образом, чтобы мешающие отражения находились за его пределами;

- в коллиматорных измерительных комплексах – отсементировать по времени от полезного сигнала волну, дифрагирующую на краю зеркала и прямую волну от облучателя, что приводит к более высокой точности измерений;

- при измерениях в ближнем поле – повысить точность измерений за счет временной селекции переотражений между измерительным зондом, измеряемой антенной и элементами конструкции сканера.

Временной метод измерения в дальней зоне может быть реализован в помещениях, не оборудованных (или частично оборудованных) радиопоглощающим материалом при выполнении условия:

$$H > \frac{\sqrt{(c\tau_{\min})^2 + 2c\tau_{\min} R_{\text{дз}}}}{2}, \quad (1)$$

где  $H$  - расстояние от трассы сигнала до ближайшего мешающего элемента (пол, потолок, выступ стены и т.п.);

$R_{\text{дз}}$  – расстояние дальней зоны для измеряемой антенны;

$\tau_{\min}$  – минимальный размер временного окна, требуемого для регистрации сигнала на выходе антенны (длительность импульсной характеристики);

$c$  – скорость света.

При выполнении условия (1) мешающие отражения будут находиться за пределами пространственного размера временного окна  $c\tau_{\min}$  и не повлияют на результаты измерения.

Структурная схема комплекса для измерения характеристик антенн в дальней зоне показана на рис.2. На рисунке обозначены: ПРД – передающее устройство, ШПУ – широкополосный твердотельный усилитель, БУ ОПУ – блок управления опорно-поворотным устройством, ПК – персональный компьютер.

Передающее устройство (ПРД) – генератор сверхкоротких импульсов – формирует импульсы возбуждения вспомогательной передающей антенны, которая излучает зондирующие сигналы в направлении измеряемой антенны.

Опорно-поворотное устройство с блоком управления (БУ ОПУ) предназначено для размещения измеряемой антенны и её автоматического позиционирования в заданных секторах углов измерения.

Широкополосный усилитель (ШПУ) используется в случае необходимости и обеспечивает усиление сигналов на выходе измеряемой антенны.

Стробоскопическое сверхширокополосное приемное устройство (СШП ПРМ) осуществляет масштабно-временное преобразование поступающих на его вход сигналов и их цифровое кодирование для последующей обработки. Кроме того, приемник формирует синхроимпульсы для запуска передатчика.

Приведем основные технические характеристики СШП АИВК, разрабатываемых НПШ "ТРИМ":

- диапазон рабочих частот СШП стробоскопического приемника 0-50 ГГц
- динамический диапазон СШП приемника  $\geq 75$  дБ
- диапазон программного управления размером временного окна СШП приемника 100 пс – 1 мкс
- диапазон программного управления временной задержкой сигнала синхронизации 0–5.1 мкс
- уровень собственных шумов (RMS)  $\leq 2$  мВ
- количество накоплений измеряемого сигнала 1 - 4096
- аппаратурная погрешность измерения диаграммы направленности:
  - в диапазоне 0...-20 дБ  $\pm 0.2$  дБ
  - в диапазоне -20...-45 дБ  $\pm 0.5$  дБ
- аппаратурная погрешность измерения коэффициента усиления  $\pm 0.3$  дБ
- погрешность определения частоты  $\pm 0.01\%$
- погрешность позиционирования измеряемой антенны  $\pm 0.03^\circ$

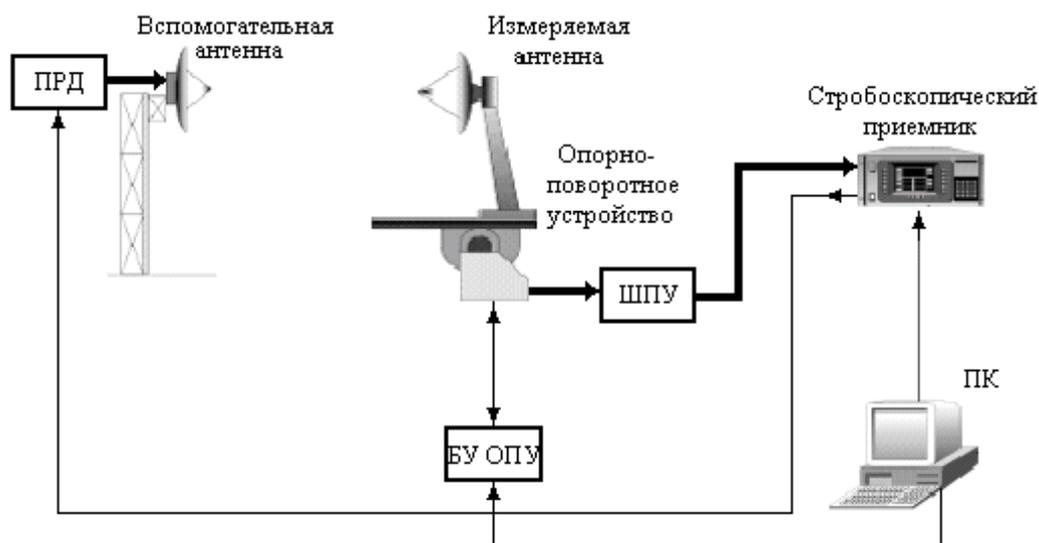


Рис.2. Структурная схема СШП АИВК для измерений в дальней зоне.

Измерение амплитудных, фазовых, поляризационных диаграмм направленности (ДН) антенн может осуществляться как в режиме пошагового дискретного позиционирования антенны, так и в режиме непрерывного вращения опорно-поворотного устройства. Скорость вращения в непрерывном режиме определяется исходя из установленных параметров ввода сигнала (число отсчетов, количество накоплений) и заданного интервала осреднения по углу. Время измерения ДН в непрерывном режиме в несколько раз меньше, чем в режиме пошагового позиционирования. Как правило, измерение одного сечения ДН наиболее распространенных антенн в полном секторе  $360^\circ$  занимает 2-4 минуты.

Программно-алгоритмическое обеспечение СШП АИВК позволяет измерять и рассчитывать полный набор радиотехнических характеристик антенн:

- амплитудные, фазовые, поляризационные диаграммы направленности (объемные и различные сечения в заданной системе координат);
- частотные зависимости коэффициента усиления (КУ) и коэффициента направленного действия;
- координаты фазового центра;
- частотные зависимости поляризационных характеристик и др.

Сравнение результатов измерения диаграммы направленности рупорной антенны в Е- и Н-плоскостях временным и частотным методами с помощью, соответственно, стробоскопического приемника TMR-8218 производства предприятия "ТРИМ" и анализатора цепей PNA N5230A производства компании "Agilent" показано на рис.3.

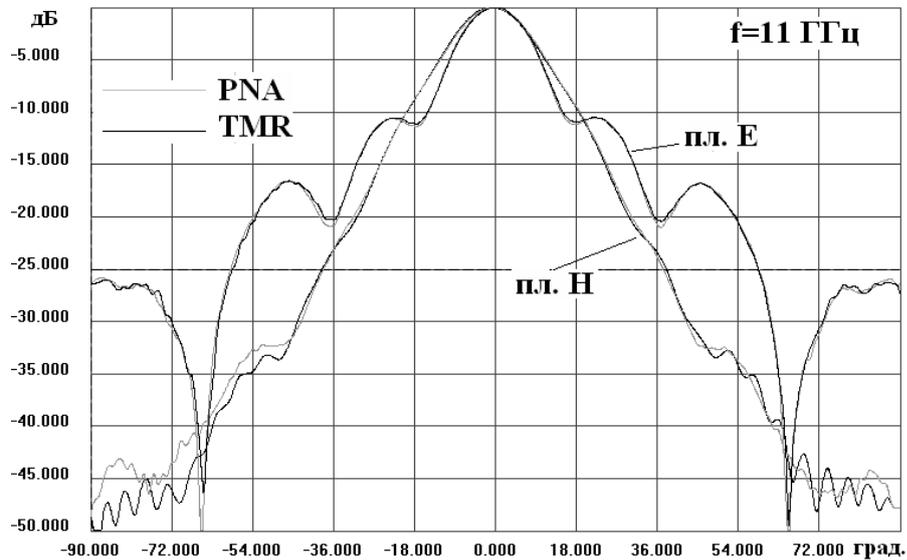


Рис.3. Сравнение измерений ДН рупорной антенны во временной и в частотной области.

На рис.4 показано сравнение результатов измерения коэффициента усиления рупорной антенны с коаксиально-волноводным переходом временным и частотным методами.

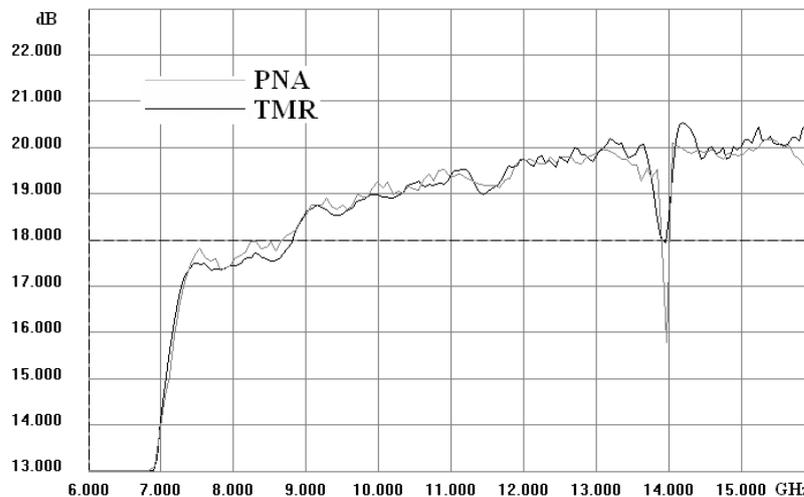


Рис.4. Сравнение измерений КУ рупорной антенны во временной и в частотной области.

Измерения во временной области в комплексах, разрабатываемых на предприятии "ТРИМ", реализованы также и при измерениях характеристик антенн в ближнем поле всеми наиболее распространенными методами: плоского, цилиндрического и сферического сканирования.

При измерениях в ближнем поле во временной области небольшая вспомогательная слабонаправленная антенна-зонд работает, как правило, в режиме передачи, а исследуемая антенна – в режиме приема. Зондовая антенна излучает сверхкороткий импульсный сигнал. Для каждого пространственного положения зонда измеряется сигнал на выходе исследуемой антенны и вычисляется его комплексный (амплитудно-фазовый) спектр. Таким образом, после одного цикла измерений (одного цикла сканирования) формируется пространственное амплитудно-фазовое распределение

ближнего поля для всех частот рабочего диапазона.

В дальнейшем алгоритмы обработки сигналов при измерениях в ближнем поле с помощью СШП АИВК принципиально не отличаются от традиционных алгоритмов, используемых в узкополосных измерительных комплексах.

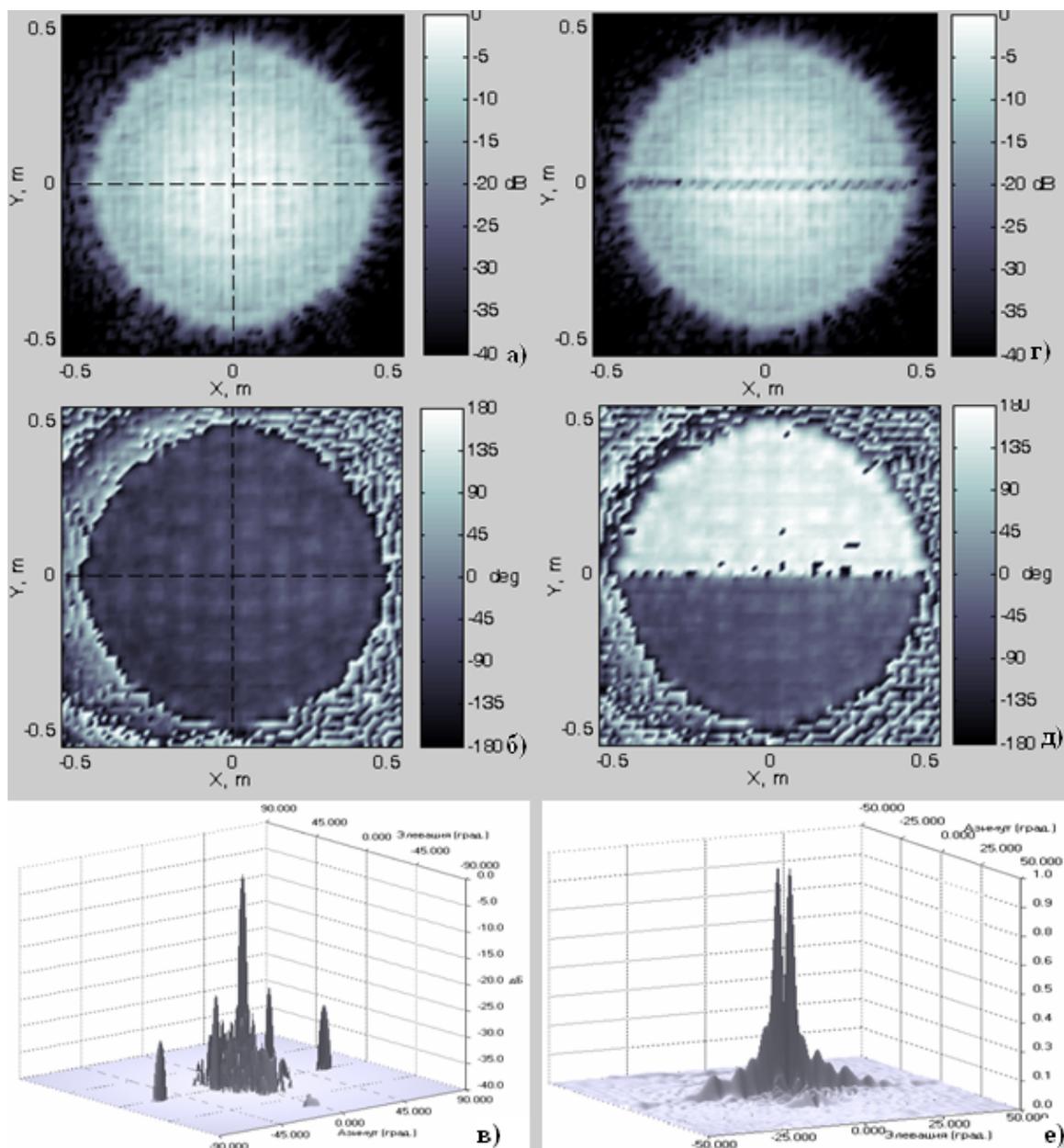


Рис.5. Амплитудно-фазовые распределения и диаграммы направленности суммарного (а-в) и разностного (г-е) каналов фазированной антенной решетки.

Пример измерения с помощью плоского сканера диаграмм направленности суммарного и разностного каналов фазированной антенной решетки приведен на рис.5.

#### Литература.

1. Evans G. Antenna measurement techniques. – Artech House Inc., London, 1990.
2. Gregson S., McCormic J., Parini C. Principles of Planar Near-Field Antenna Measurements (Electromagnetic waves series, v.53). – Institution of Engineering and Technology, London, 2007.
3. Hansen J. Spherical near-field antenna measurements theory and practice (Electromagnetic waves series, v.26). – Institution of Electrical Engineers, London, 1988.