

**СКАНЕРЫ РОТАЦИОННОГО ТИПА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АНТЕН****Введение**

Для реализации современных ближнезонных методов антенных измерений широко применяются механические координатные устройства (КУ). Основными параметрами КУ являются: число координат, пределы перемещения полезной нагрузки по каждой из координат, дискретность отсчетов, точность позиционирования, скорость перемещения, ускорение, наибольшая масса полезной нагрузки и т.п. [1, 2].

В зависимости от конструкции антенны и наличия возможности изменения ее положения в процессе измерения амплитудно-фазовых распределений (АФР) используются различные виды сканирования (планарное, плоско-полярное, радиальное, цилиндрическое, сферическое сканирование и др.) и, соответственно, предъявляются различные требования к типам, размерам и ориентации сканеров [2]. В настоящее время ряд фирм (например, MI-Technologies, ORBIT-FR, NSI и др.) предлагает заказчикам широкий выбор готовых конструкций механических сканеров. Это вертикальные, горизонтальные, наклонные планарные сканеры и ряд сканеров со специфической конструкцией, предназначенных для проведения настройки и измерения параметров антенн по месту применения [3 – 5].

Для настройки и проведения испытаний ФАР наибольшее распространение получили планарные сканеры с конструкцией типа «инверсное Т» с размерами зоны сканирования от 0,9м x 0,9м до 35м x 16м [6]. В конструкции этого типа вертикальная мачта перемещается по двум горизонтальным направляющим, размещенным на жестком стабильном фундаменте. Данная конструкция имеет ряд преимуществ по сравнению с ранее использовавшимися коробчатыми сканерами, а именно:

- более высокая надежность за счет упрощения конструкции привода;
- упрощение монтажа и юстировки;
- уменьшение переотражений зондового сигнала от конструкции сканера за счет исключения ряда несущих элементов;
- уменьшение влияния температуры на конструкцию сканера за счет более компактной механической структуры.

**Постановка задачи**

Наиболее существенным недостатком апертурно-зондового метода является значительное время измерения АФР, обусловленное ограничением скорости механического перемещения одиночного измерительного зонда.

Попытки сократить время измерений АФР за счет увеличения скорости перемещения измерительного зонда неизбежно приводят:

- к увеличению динамических нагрузок на каретки сканера;
- интенсивному износу сканера и подвижной линии передачи СВЧ-сигнала;
- увеличению вибраций зондовой системы и росту ошибок позиционирования измерительного зонда;
- увеличению погрешностей измерения АФР за счет уменьшения времени усреднения измеренных данных.

Еще одним фактором, ограничивающим скорость перемещения зонда, является время установления сигнала и выполнения измерений после переключения состояния ФАР (при

проведении в одном цикле измерений АФР для группы каналов, ряда положений лучей в пространстве и набора частот по методу разнесенных матриц). Именно поэтому реально сканеры перемещают зонд с рабочей скоростью 12÷25 см/с при выполнении измерений и не более 50 см/с на холостом ходу.

Обычно апертурно-зондовый метод используется для определения параметров планарных остронаправленных антенн (КНД >15 дБ). При этом исследуемые антенные системы неподвижны, а сектор восстановления пространственных ДН, как правило, не превышает  $\pm 70^\circ$ . Дальнейшее расширение сектора восстановления при использовании планарного сканера (или цилиндрического сканера в вертикальной плоскости) связано с большими техническими трудностями в связи с резким увеличением требуемой зоны сканирования.

Достаточно большие затруднения вызывают требования к поддержанию микроклимата в крупногабаритных безэховых экранированных камерах (БЭК):

- температура окружающего воздуха  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ;
- перепад температуры по высоте (между нижней и верхней и нижней кромками сканера) не должен превышать  $3^\circ\text{C}$ .

Это связано с тем, что при изменении температуры вследствие теплового расширения изменяется длина и форма направляющих сканера, что приводит либо к ошибкам измерения АФР, либо к необходимости отслеживания лазерным интерферометром фактического положения зонда в пространстве с последующим усложнением математической обработки для коррекции измеренных данных [7]. Поддержание стабильной температуры в БЭК влечет за собой большие эксплуатационные затраты, так как температурный режим в БЭК должен выдерживаться постоянно.

Определенные проблемы возникают при попытках укрытия радиопоглощающим материалом (РПМ) горизонтальных направляющих сканера. Применение подвижных щитов с РПМ в АИК «ИКАР-4» и АИК «БП-УСТ» при высокой интенсивности проведения испытаний ФАР выявило их недостаточную эксплуатационную надежность.

Решение ряда проблем нашло в специфической конструкции сканера, разработанного фирмой NSI [8, 9]. Такой сканер обладает рядом преимуществ и обеспечивает восстановление пространственных ДН в секторе  $\pm 90^\circ$  без перемещения антенны. Однако сканер использующий сканирование АФР на сферической поверхности очень сложно применить при проведении настройки ФАР и определении нормирующих коэффициентов для встроеной системы контроля и калибровки [10].

Для комплексного решения возникающих при измерении ближнего поля проблем предлагается использовать сканер ротационного типа (СРТ) с встроеной термостабилизацией конструкции и изменяемой геометрией поверхности сканирования от конусообразной (при измерении ДН в секторе  $\pm 90^\circ$ ) до плоско-полярной или радиальной (при настройке ФАР и определении нормирующих коэффициентов).

### **Техническое описание сканера ротационного типа**

Схема рабочего места для измерения параметров ФАР с помощью СРТ приведена на рис. 1.

Особенностью сканера СРТ является возможность его крепления на капитальной стене безэховой камеры (БЭК) через технологическое отверстие в стене или установка на специальном постаменте. При этом ось вращения шпинделя 2, находящегося в корпусе 1, горизонтальна. Образующая 4 шарнирно крепится к системе подвеса 5 жестко закрепленной на конце шпинделя 2.

Зондовая система на образующей 4 может располагаться как перпендикулярно оси вращения шпинделя, так и под некоторым углом к нему. В первом случае сканирование производится на плоско-полярной или радиальной поверхности, а в последнем случае зондовая система при вращении шпинделя описывает в пространстве коническую поверхность. Подобная схема построения и размещения СРТ по сравнению с плоскопараллельными

сканирующими устройствами приводит к тому, что уменьшаются линейные и, соответственно, весогабаритные параметры сканера и как следствие, металлоемкость конструкций при увеличении механической жесткости составных частей.

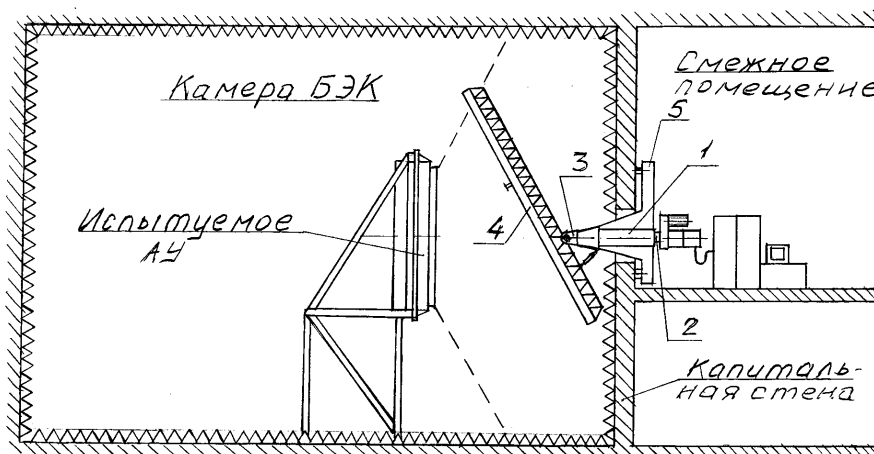


Рис. 1. Схема рабочего места для измерения параметров антенн с помощью СРТ:  
1 – корпус; 2 – шпиндель; 3 – система подвеса образующей; 4 – образующая;  
5 – система подвеса корпуса

Составные части сканера, как то корпус со шпинделем, образующая могут быть выполнены как неделимые сборочные (транспортные) единицы полной заводской сборки, что облегчает процессы настройки, регулировки по месту применения и повышает их метрологические характеристики.

Система подвеса корпуса позволяет изменять положение оси вращения шпинделя в плоскости  $XY$  и  $XZ$ . (Система координатных осей: ось  $X$  – горизонтальна и параллельна апертуре  $AУ$ ; ось  $Y$  – вертикальна и параллельна апертуре  $AУ$ . Ось  $Z$  – перпендикулярна осям  $X$  и  $Y$ ).

Уменьшается количество точек регулировки и юстировки СРТ. Основные точки регулировки СРТ находятся вне БЭК и легко доступны. Уменьшается объем и упрощается метрологическая аттестация сканера.

Для монтажа СРТ, в случае его крепления на капитальной стене, не требуются специальные фундаменты. Монтаж СРТ может производиться из смежного с БЭК помещения и не связан с проведением общестроительных работ в БЭК.

Сканер ротационного типа имеет минимальную поверхность металлических и металлопластиковых конструкций, достаточно просто укрывается РПМ и хорошо компонуется в БЭК с учетом размещения РПМ на стенах, потолке и полу БЭК. При этом существенно уменьшается длина измерительных СВЧ-трактов от измерительного зонда до измерительной аппаратуры и снижаются высокочастотные потери.

При необходимости образующая СРТ может располагаться перпендикулярно оси вращения шпинделя. При этом СРТ фактически превращается в плоско-полярный или плоско-радиальный сканер.

За счет применения адаптивной конфигурации сканера ротационного типа при плоско-полярном или плоско-радиальном сканировании эквивалентен плоскопараллельному сканеру с зоной сканирования примерно на 25 % больше чем у СРТ, но который просто физически не может быть размещен в БЭК, имеющей ограниченные размеры. В случае конического сканирования СРТ обеспечивает восстановление пространственных ДН в секторе  $\pm 90^\circ$  без перемещения антенны.

В СРТ может использоваться внутренняя температурная стабилизация механической конструкции и СВЧ-трактов в помещениях с плохо контролируемой внешней температурой (даже в БЭК с системой кондиционирования воздуха возможны перепады температуры при периодических включениях и отключениях вентиляторов). Аналогичное техническое реше-

ние было подтверждено практическим использованием в машиностроении и передвижном сканере для измерения параметров и настройки антенной системы РЛС Aegis [11 – 12].

### Метод конического сканирования

Метод конического сканирования давно привлекает пристальное внимание разработчиков аппаратуры и программного обеспечения для выполнения антенных измерений [13]. Однако возможности его применения были ограничены высокой сложностью алгоритмов обработки результатов измерения АФР и несовершенством вычислительной техники.

Резко возросшие возможности современной вычислительной техники сняли существовавшие ранее ограничения по практической реализации данного метода. В работах, выполненных за последние три года, приводятся результаты моделирования и экспериментов, а также детально описывается примененный математический аппарат конического сканирования с компенсацией характеристик измерительного зонда [14 – 16].

*Перспективы дальнейших исследований.* Существенное повышение качества и оперативности проведения измерений АФР может быть достигнуто при использовании в СРТ многозондовой системы [17 – 18]. Для повышения точности измерений представляется целесообразным продолжить работу по разработке сканера ротационного типа со сканированием по усеченной конусной поверхности [19].

### Выводы

Предложенная конструкция СРТ имеет ряд преимуществ перед известными конструкциями сканеров:

- изменяемая геометрия сканирования обеспечивает возможность применения СРТ при настройке ФАР и восстановление ДН секторе  $\pm 90^\circ$  без перемещения антенны;
- уменьшение влияния температуры окружающей среды на точность измерений обусловлено компактной конструкцией сканера и встроенной системой термостабилизации;
- минимальное количество металлоконструкций, полностью укрытых радиопоглощающим материалом, в зоне сканирования;
- при использовании в СРТ многозондовой системы повышается оперативность и точность определения параметров антенн;
- уменьшается стоимость изготовления и эксплуатации сканера ротационного типа.

**Список литературы:** 1. *Страхов, А.Ф.* Автоматизированные антенные измерения. – М. : Радио и связь, 1985. – 136 с. 2. *Slater, Dan*, Near-field antenna measurements / Boston: Artech House, 1991, 310 p. 3. <http://www.nearfield.com>. 4. <http://www.mi-technologies.com>. 5. <http://www.orbitfr.com>. 6. *Demas, J., Speicher, T.* Innovative mechanical designs for scanners. // 1997-11-01 – AMTA 1997, p. 366. 7. *Gregson, S., McCormick, J., Parini, C.* Principles of Planar Near-Field Antenna Measurements. Institution of Engineering and Technology. 2007. – P.424. 8. *Arch Roll Spherical Nearfield Scanner* // Microwave Journal Vol. 53. No. 12 January 2010 Page 116. 9. *Hindman, G., Tyler, H.* High Accuracy Spherical Near-Field Measurements On a Stationary Antenna // Proc. of the 32<sup>nd</sup> Annual Symposium of the Antenna Measurement Techniques Association. A10-0108. – 2010. 10. *Основные тенденции развития ближнезонных методов измерения характеристик антенн. Ч.2. Методы контроля, настройки и измерения параметров ФАР / В.А. Усин, В.И. Марков, С.В. Помазанов, А.В. Усина, А.Б. Филоненко* // Радиотехника : Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2010. Вып. 160. – С. 213-227. 11. *McAdams, G.E.; Romanchuk, R.* 14' x 14' Portable Planar Near-Field Scanner System (PPNFSS) for the Aegis Array. // Proc. of the Antenna Measurement Techniques Association 1999-11-03 – 1999, p. 351. 12. *Slater, D. et al.*: Thermal Control Apparatus For Two-Axis Measurement System. H01Q 1/12, US Patent Number 6,193,334. – Feb. 27, 2001. 13. *Замятин, В.И., Усин, В.А.* Восстановление диаграммы направленности антенн по измерениям ближнего поля на конической поверхности // Третья Всесоюз. конф. "Метрологическое обеспечение антенных измерений", ВКАИ-3. – Ереван, 1984. – С. 260. 14. *Leatherwood, D.* Conical Near-Field Antenna Measurement System // Antenna Measurement Techniques Association (AMTA) symposium, A07-0006. – St. Louis, November, 2007. 15. *Gregson, S.F. Parini, C.G. McCormick, J.* Proposal for a novel near-field antenna measurement technique employing a conic frustum geometry // Antennas and Propagation Conference, 2008.

LAPC 2008. Loughborough 17-18 March 2008 p: 105 – 108. 16. *Gregson, S. F., Hindman G. E.* Conical near-field antenna measurements // Proc. of the 31<sup>nd</sup> Annual Symposium of the Antenna Measurement Techniques Association. A08-0021. – Boston, November 2008. 17. *Shemer, U., Gandois, A.* A High Performance State-of-the-Art Planar Hybrid Scanner // Proc. of the 32<sup>nd</sup> Annual Symposium of the Antenna Measurement Techniques Association. A10-0017. – 2010. 18. *Усин, В.А., Марков, В.И., Анохина, О.Д., Усина, А.В., Рожнятовская, Л.В.* Многоканальный зонд для измерений параметров антенн апертурно-зондовым методом // Тр. 15 Междунар. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (CriMiCo'05) Севастополь : Вебер, 2005. – Т.2. – С. 713-714. 19. *Gregson, S. F., Hindman, G. E.* Conical near-field antenna measurements // IEEE Antennas Propagat. Mag., vol. 51, February 2009. – P. 193 – 201.

*Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники,  
ГП «НИИ «Квант»*

*Поступила в редколлегию 20.05.2012*