

## ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ И ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ИЗОТРОПНОЙ ИЗЛУЧАЕМОЙ МОЩНОСТИ АНТЕННЫ В СФЕРИЧЕСКИХ СКАНЕРАХ БЛИЖНЕГО ПОЛЯ

*Ю.Н. Калинин*

*Научно-производственное предприятие «ТРИМ» СШП Измерительные системы»,  
Санкт-Петербург*

*Рассматриваются алгоритмы обработки, позволяющие при измерениях антенн в ближней зоне с помощью сферического сканера получить коэффициент усиления и эквивалентную изотропную излучаемую мощность антенны непосредственно по измеренному распределению ближнего поля, без использования эталонной антенны. Время измерения при этом сокращается более чем в два раза. Приводятся результаты экспериментальных измерений стандартной рупорной антенны диапазона 5.85...8.2 ГГц. Разработанные алгоритмы реализованы в программно-алгоритмическом обеспечении автоматизированных измерительно-вычислительных комплексов, выпускаемых научно-производственным предприятием «ТРИМ» (г. Санкт-Петербург).*

Традиционным методом измерения коэффициента усиления (КУ) пассивных антенн в ближней зоне является метод сравнения, предполагающий использование эталонной антенны [1–4]. Этот метод применяется в планарных, цилиндрических и сферических сканерах и требует проведения дополнительного измерения распределения ближнего поля эталонной антенны, как правило, с теми же параметрами сканирования, что и при измерении исследуемой антенны (ИА).

Существенно сократить время измерения (более чем в два раза – с учетом времени на установку и юстировку эталонной антенны) позволяет прямой метод измерения КУ, основанный на использовании калиброванного (эталонного) зонда.

В качестве энергетической характеристики активных антенн и фазированных антенных решеток в режиме излучения применяется эквивалентная изотропная излучаемая мощность *EIRP* (Equivalent Isotropically Radiated Power).

Способы измерения *EIRP* в дальней зоне и в компактном полигоне (коллиматоре) непосредственно следуют из формулы Фрисса и также основываются на использовании эталонной антенны (эталонного облучателя коллиматора) [2]. Способы измерения *EIRP* в ближнем поле менее очевидны.

Прямые методы измерения КУ и *EIRP* в плоских сканерах ближнего поля рассматриваются в [3, 4]. Эти методы успешно апробированы и реализованы в программно-алгоритмическом обеспечении автоматизированных измерительно-вычислительных комплексов (АИВК), выпускаемых научно-производственным предприятием «ТРИМ» (г. Санкт-Петербург).

Способы прямого измерения КУ и *EIRP* в сферических сканерах недостаточно освещены в доступных источниках.

В докладе рассматриваются алгоритмы обработки, позволяющие при измерениях антенн в ближней зоне с помощью сферического сканера получить коэффициент усиления и эквивалентную изотропную излучаемую мощность антенны непосредственно по измеренному распределению ближнего поля, без использования эталонной антенны.

При измерении характеристик антенн в сферическом сканере используется аппроксимация поля  $\vec{E}(\theta, \phi)$ , создаваемого антенной в дальней зоне в направлении  $(\theta, \phi)$  сферической системы координат, сферическими волновыми функциями  $\vec{K}_{smn}(\theta, \phi)$ :

$$\vec{E}(\theta, \phi) = \sum_{s=1}^2 \sum_{n=1}^N \sum_{m=-n}^n T_{smn} \vec{K}_{smn}(\theta, \phi), \quad (1)$$

где  $T_{smn}$  – коэффициенты сферических волновых функций;  $s$  – индексы поляризации;  $n$  – полярный индекс, соответствующий углу  $\theta$ ;  $m$  – азимутальный индекс, соответствующий углу  $\phi$ ;  $N$  – число сферических гармоник, используемых для аппроксимации диаграммы направленности.

Исходными данными для определения коэффициентов  $T_{smn}$  являются измерения поля  $w(A, \chi, \theta, \phi)$  на сфере радиуса  $A$  при сканировании по углам  $\theta$  и  $\phi$  и вращении зонда вокруг своей оси по углу  $\chi$ . Коэффициенты  $T_{smn}$  определяются из решения уравнения наблюдения [5]:

$$w(A, \chi, \theta, \phi) = \nu \sum_{\substack{smn \\ \sigma\mu\nu}} T_{smn} e^{jm\phi} d_{\mu m}^n(\theta) e^{jm\chi} C_{\sigma\mu\nu}^{sn}(kA) R_{\sigma\mu\nu}^p; \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{smn \\ \sigma\mu\nu}} \equiv \sum_{s=1}^2 \sum_{n=1}^N \sum_{m=-n}^n \sum_{\sigma=1}^2 \sum_{\mu=-\nu_{\max}}^{\nu_{\max}} \sum_{\nu=|\mu|}^{\nu_{\max}},$$

где  $\nu$  – входной сигнал исследуемой антенны (рассматриваем измерение при работе ИА в режиме излучения);  $d_{\mu\nu}^n(\theta)$  – коэффициенты, характеризующие преобразование системы координат при перемещении зонда по углу  $\theta$ ;  $R_{\sigma\mu\nu}^p$  – коэффициенты сферических волновых функций зонда;  $C_{\sigma\mu\nu}^{sn}(kA)$  – определяет преобразование коэффициентов  $R_{\sigma\mu\nu}^p$  из начала системы координат на сферу радиуса  $A$ ; индексы  $\sigma, \mu, \nu$  аналогичны индексам  $s, m, n$  применительно к зондовой антенне.

После определения коэффициентов  $T_{1mn}$  и  $T_{2mn}$  может быть непосредственно рассчитан КУ антенны. Для расчета КУ используется эквивалентная форма формулы Фрисса, полученная в [5] в виде:

$$\frac{\frac{1}{2}|W|^2}{\frac{1}{2}|\nu|^2} = \frac{G_p G_t}{4}, \quad (5)$$

где  $G_p$  – КУ эталонного зонда;  $G_t$  – КУ ИА;  $\nu$  – сигнал на входе ИА;  $W$  – нормализованный сигнал в дальней зоне [5], определяемый как

$$W(\chi, \theta, \phi) = \lim_{kA \rightarrow \infty} \left[ w(A, \chi, \theta, \phi) \frac{kA}{e^{jkA}} \right], \quad (6)$$

где  $k$  – волновой множитель.

Нормализованный сигнал (6) вычисляется на основе уравнения наблюдения (2) как сигнал бесконечно удаленного зонда.

Эквивалентная изотропная излучаемая мощность может быть определена как

$$EIRP = \frac{1}{2} |\nu|^2 G_t. \quad (7)$$

Тогда (5) можно записать в виде:

$$\frac{1}{2}|W|^2 = \frac{G_p EIRP}{4}. \quad (8)$$

Для измерения  $EIRP$  не требуется осуществлять калибровку приемо-передающего тракта. Однако относительные измерения ближнего поля  $w(A, \chi, \theta, \phi)$  должны быть

дополнены одним измерением абсолютного уровня мощности  $P_m$  в некоторой точке  $(A, \theta_m, \phi_m)$ , как правило, соответствующей максимальному уровню ближнего поля.

Нормализованный сигнал дальней зоны  $W(\chi, \theta, \phi)$  рассчитывается без учета влияния приемо-передающего тракта.  $EIRP$  определяется из уравнения (8) с учетом калибровочного коэффициента.

Рассмотренные алгоритмы были апробированы при измерении КУ и  $EIRP$  эталонной рупорной антенны с прямоугольным раскрытием размером  $15 \times 11.5$  см, диапазона  $5.85 \dots 8.2$  ГГц со стандартным волноводным фланцем WR-137 производства компании Penn Engineering.

КУ рупорной антенны  $G_t$ , полученный в соответствии с рассмотренным алгоритмом, показан на рис. 1 в сравнении с эталонными значениями, представленными производителем. Максимальное отличие в рабочей полосе частот не превышает 0.2 дБ.

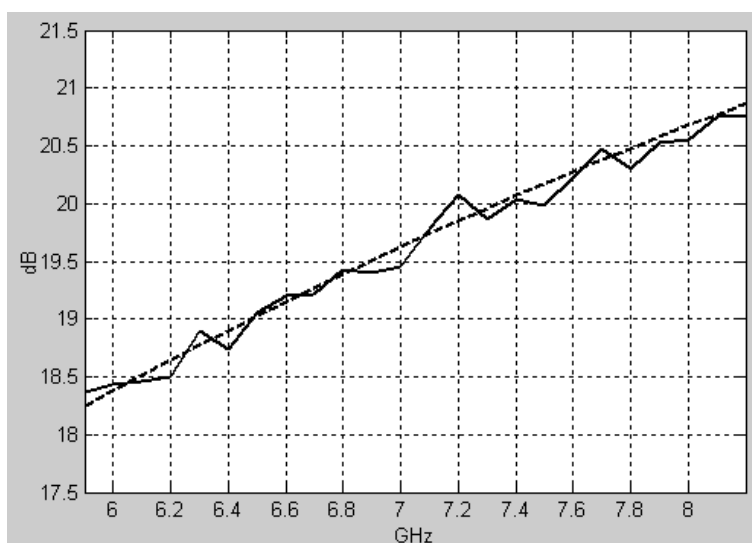


Рис. 1. Измеренный (—) и эталонный (---) коэффициенты усиления рупорной антенны

При измерении  $EIRP$  с выхода векторного анализатора цепей (ВАЦ) на вход рупора подавался сигнал с уровнем мощности +10 дБм. Максимальная погрешность измерения  $EIRP$  не превышает 0.5 дБ (рис. 2) и находится в пределах погрешности установки уровня выходной мощности внутреннего генератора ВАЦ, т.е. в пределах задания значений  $EIRP$ , принятых в качестве эталонных.

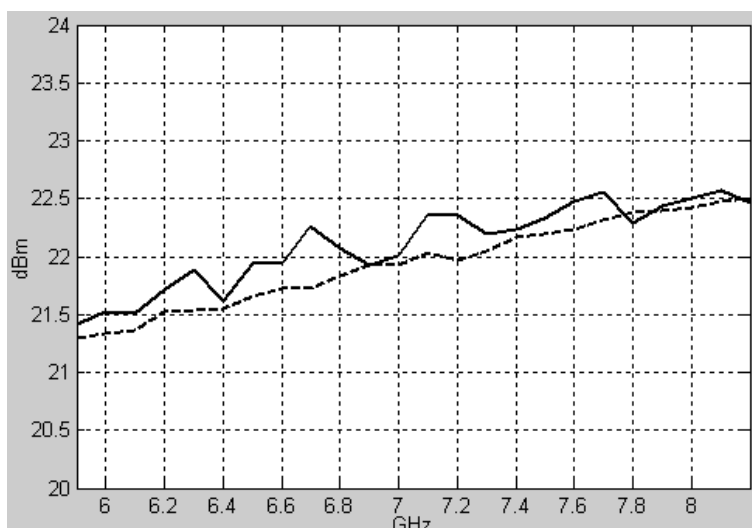


Рис. 2. Измеренная (—) и эталонная (---) эквивалентная изотропная излучаемая мощность

Разработанные алгоритмы использованы в программном обеспечении АИВК, выпускаемых НПП «ТРИМ».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне / Бахрах Л.Д. и др. – Л.: Наука, 1985.
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. Newell A., Ward R., McFarlane J. Gain and power parameter measurements using planar near-field techniques // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1988, vol. 36, № 6.
4. IEEE Recommended Practice for Near-Field Antenna Measurements. – Antenna Standards Committee of the IEEE Antennas and Propagation Society, IEEE Std 1720™, 2012.
5. Hansen J. Spherical Near-Field Antenna Measurements, London, UK: Peter Peregrinus, Ltd., 1988.
6. Doren W. Measurement of EIRP and antenna response for active antennas with spherical near-field scanning. – Antenna Measurements and SAR, 2004. AMS 2004. IEE.
7. Brian B. Spherical near-field antenna measurement note: insertion loss gain measurement. – 30th Antenna Measurement Techniques Association Annual Symposium (AMTA), 2008.