

И.Н. БУБНОВ, ведущий инженер, Радиоастрономический институт НАН Украины

Е.Н. НИКУЛИНА, канд. техн. наук, н.с., НТУ “ХПИ”

РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Представлено структурную схему стенда для определения площади антенных решеток радиоастрономическим методом. Приведено конструктивные параметры высоколинейного активного диполя, який використовується в стенді. Запропоновано формули розрахунків та отримані результати відгуків інтерферометру високолінійних активних диполів.

The structure scheme of the stand which is used for definition the area of the antenna arrays by radioastronomic method is presented. Construct parameters highlinear active dipole which is used in the stand are resulted. Formulas accounts are offered and results of the response interferometer highlinear active dipoles are obtained.

Постановка задачи. Теоретические исследования, связанные с созданием активных антенн, начаты еще в 30-е годы двадцатого века, однако в те годы для их построения уровень развития радиотехники был недостаточен. Только в 80-е годы прошлого века появилась возможность применения активных антенн в бытовой аппаратуре. Применение антенн данного класса позволяет избежать проблем, связанных с габаритными размерами антенн, увеличить рабочую полосу антенн, улучшить чувствительность приемных антенн или увеличить КПД передающей антенны, поэтому с каждым годом теория и практика в данном направлении стремительно развиваются.

Чтобы эксплуатировать антенные решетки эффективно необходимо точнее оценивать их основные характеристики – диаграмму направленности, коэффициент направленного действия, коэффициент полезного действия, коэффициент усиления и эффективную площадь. Данная статья посвящена оценке эффективной площади активной антенной решетки.

Анализ литературы. В настоящее время созданы активные антенные решетки для авиации и флота. Создаются антенные решетки нового поколения для радиоастрономии LOFAR в Нидерландах [1], LWA в США [2], MWA в Австралии [3], PAST в Китае [4] и другие, где в качестве элемента решетки используется активная антенна. Существуют так называемые «наземные» методы [5], а также радиоастрономические методы исследования характеристик антенн [6]. В работе [7] рассмотрены преимущества и недостатки обоих методов. При разработке метода оценивания эффективной площади, описываемого в статье, за прототип был взят метод Литла [8].

Целью данной статьи является разработка методики определения эффективной площади активной антенной решетки радиоастрономическим методом.

Постановка задачи. Эффективную площадь A антенной решетки классическим радиоастрономическим методом можно получить из соотношения, связывающего антенную температуру источника с плотностью потока его радиоизлучения [6]

$$A = \frac{2kgT_a}{S}, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана; g – коэффициент, учитывающий соизмеримость угловых размеров диаграммы направленности исследуемой антенны и источника, принятого за эталонный; T_a – антенная температура источника; S – плотность потока радиоизлучения радиоисточника.

Для определения коэффициента g в формуле (1) необходима диаграмма направленности исследуемой антенны, а также закон распределения радиояркости по источнику, используемого для измерений. Антенная температура источника определяется как температура, на которую необходимо нагреть нагрузку, включенную на вход приемника вместо антенны, чтобы создаваемый прирост мощности за счет нагрева нагрузки до температуры T_a равнялся приросту мощности от радиоизлучения источника. Нагреваемая нагрузка должна быть включена на выходе антенны. В антенных решетках эта задача практически невыполнима, так как между антенной решеткой, элементами составляющими решетку и приемником расположены линия передачи, система фазирования и усиления. Поэтому необходимо проводить калибровку системы для учета ослабления или усиления сигнала в линии передачи. Калибровка тем сложнее, чем больше элементов в антенной решетке, а если элементы являются активными, то задача еще более усложняется.

Эффективную площадь больших интерферометров и корреляционных радиотелескопов без измерения антенной температуры определяют методом Литгла, который основан на проведении трех измерений в режиме корреляционного интерферометра между тремя антеннами [8]. Использование интенсивных радиоисточников позволяет определить неизвестные эффективные площади двух больших антенных решеток путем сравнения их с антенной известной эффективной площади. В качестве антенны с известной площадью используется полуволновый диполь или другая простейшая антенна, площадь которой легко вычисляется. Две другие антенны должны иметь узкие диаграммы направленности чтобы устранить эффект спутывания.

На практике довольно часто необходимо оценить эффективную площадь одной неизвестной антенной решетки. Предложенный способ оценки эффективной площади антенных решеток позволяет при определении площади не сооружать дополнительную антенную решетку.

Решение задачи. Предположим, что на небесной сфере существует один точечный радиоисточник, сигнал которого принимается двумя

разнесенными антеннами, а поступающая мощность на выходе корреляционного приемника имеет синусоидальную форму

$$p_1 = KS\sqrt{A_1 A_2} \cos \psi, \quad (2)$$

где K – константа; A_1, A_2 – эффективные площади антенн, составляющих корреляционный радиотелескоп; ψ – сдвиг фаз между сигналами.

Частота синусоидального сигнала отклика интерферометра, состоящего из двух антенн, определяется взаимным расположением базы интерферометра и радиисточника на небесной сфере, а также длиной базы и рабочей длиной волны. В простейшем случае расположении базы вдоль линии восток-запад

$$\psi = (2\pi D/\lambda)u,$$

где D – база интерферометра, λ – длина волны, $u = \cos \delta \sin t$, δ – склонение источника, t – часовой угол источника.

На небесной сфере расположено большое количество радиисточников, поэтому мощность p_1 пропорциональна суперпозиции всех источников, попадающих в диаграммы направленности антенн, составляющих интерферометр. В настоящее время, используя систему GPS, можно достаточно точно определять базу интерферометра D , и, как следствие, вычислять частоту интерференции отклика интерферометра любого точечного источника. Пропуская сигнал отклика интерферометра через цифровой режекторный фильтр, настроенный на частоту интерференции интересующего источника, на выходе получаем интерференционный сигнал, созданный одним источником.

На рис. 1 изображена структурная схема стенда для оценки эффективной площади антенных решеток.

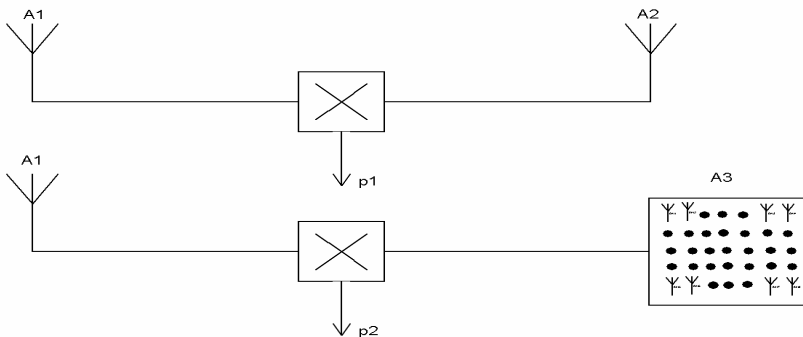


Рис. 1. Структурная схема стенда

Первоначально проводятся интерференционные измерения с применением двух идентичных антенн, эффективные площади которых A_1 и A_2 известны. В качестве таких антенн используются активные

широкополосные диполи. Из-за слабой направленности диполей поступающая мощность p_1 на выходе системы будет пропорциональна суперпозиции интерференционных откликов от всех источников, попадающих в диаграммы диполей.

Существует два дискретных радиоисточника 3С405 и 3С461, интенсивность которых на порядок выше интенсивности ближайших по мощности радиоисточников. Именно по этим источникам удобнее всего проводить оценку эффективной площади. Настроим цифровой режекторный фильтр на частоту интерференции одного из вышеприведенных источников и пропустим через него сигнал p_1 . Затем по этой же линии передачи вместо сигнала от диполя с эффективной площадью A_2 подадим сигнал от исследуемой антенной решетки с эффективной площадью A_3 , сфазированной в направлении выбранного источника. Определим поступающую мощность на выходе корреляционного приемника

$$p_2 = KS\sqrt{A_1 A_3} \cos \psi. \quad (3)$$

Пропуская сигнал p_2 через режекторный фильтр и из уравнений (2), (3) с учетом $A_1 = A_2$, находим эффективную антенную площадь A_3

$$A_3 = \frac{p_2^2}{p_1^2} A_1.$$

Одним из недостатков радиоастрономического метода является недостаточная чувствительность, поэтому в качестве антенн с эффективными площадями A_1 и A_2 нужно использовать высокочувствительные антенны. На рис. 2 приведен отклик интерферометра, состоящего из двух широкополосных высоколинейных активных диполей, в виде графика, на котором горизонтальной оси отвечает время, а вертикальной – мощность [9].

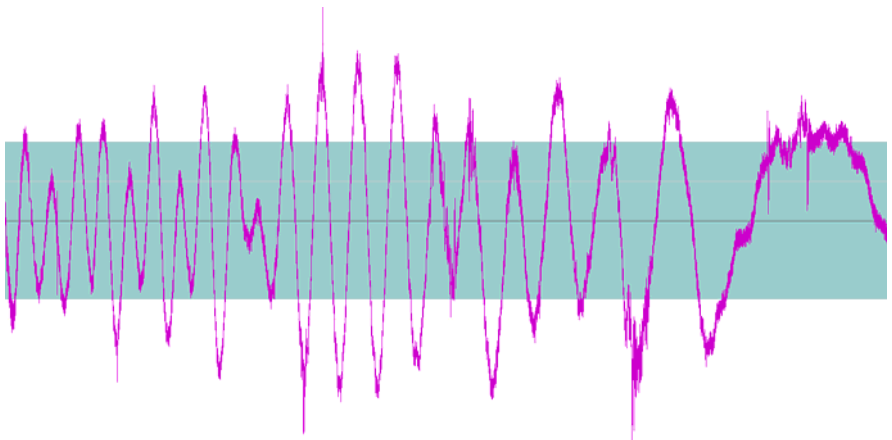


Рис. 2. Отклик интерферометра высоколинейных активных диполей

График получен путем эксперимента на высоколинейном активном диполе со следующими конструктивными параметрами: длина плеч – 1,4 м, ширина вблизи точки питания – 0,9 м, высота над поверхностью земли – 1,6 м. Диполь изготовлен из пластиковой трубы диаметром 25 мм, с вложенным в нее коаксиальным кабелем диаметром 5 мм. Важной составляющей активного диполя является подключаемый к его выходу высокочастотный усилитель. Усилитель построен по балансной двухкаскадной схеме Нортон с бесшумной трансформаторной обратной связью и имеет коэффициент усиления 16 дБ. Для развязки усилителя с протяженным магистральным кабелем на его выходе установлен двухдецибелльный аттенуатор. Питание усилителя осуществляется по магистральному кабелю.

График на рис. 2. демонстрирует, что чувствительности измерительной системы достаточно, чтобы зарегистрировать сигнал мощности p_1 , поэтому предложенный метод оценки эффективной площади применим на практике.

Выводы. В результате проделанной работы был предложен более практичный метод оценки эффективной площади антенных решеток радиоастрономическим способом, чем метод Литгла. Показано, что чувствительности двух активных антенных диполей достаточно для уверенного приема сигнала от естественных внеземных радиисточников.

Список литературы: 1. *Butcher H.R.* First of a new generation of radio telescopes // Proceedings SPIE. – 2004. – 5489. – P. 537. 2. *Kassim N.E., Erickson W.C.* Meter- and decameter-wavelength array for astrophysics and solar radar // Proceedings SPIE. – 1998. – 3357. – P. 740. 3. *Bowman J.D. et al.* // Astronomical J. – 2007. – 133. – P. 1505. 4. *Pen U.L., Wu X.P., Peterson J.* Preprint (astro-ph/0404083) – 2004. 5. Состояние и перспективы развития методов измерений внешних параметров антенн. Обзор. – В кн. Антенны. / Под редакцией А.А. Пистолькорса. – М.: Радио и связь, 1982. – Вып. 30. – С. 46 – 65. 6. *Кузьмин А.Д., Саломинович А.Е.* Радиоастрономические методы измерений параметров антенн. – М.: Сов. Радио, 1964. 7. *Захарьев Л.Н., Леманский А.А., Турчин В.И. и др.* Методы измерения характеристик антенн СВЧ / Под ред. Цейтлина Н.М. – М.: Радио и связь, 1985. 8. *Little A.G.* Gain Measurements of Large Aerials used in Interferometer and Cross-type Radio Telescopes // Australian Journal of Physics. – 1958. – 11. – P. 70. 9. *Фалькович И.С., Коноваленко А.А., Гридин А.А., Содин Л.Г., Бубнов И.Н. и др.* Широкополосный высоколинейный активный диполь для низкочастотной радиоастрономии // Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2010.

Поступила в редколлегию 31.05.10