

К. т. н. А. В. САДЧЕНКО, О. А. КУШНИРЕНКО, М. Т. АЛЬХАМИДИ, А. М. АЛХАДИ

Украина, Одесский национальный политехнический университет

E-mail: anjand@mail.ru, kuuk@mail.ru

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЗЕРКАЛЬНЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ АНТЕНН В ЗВУКОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Предложена методика измерения направленных свойств зеркальных параболических антенн в звуковом диапазоне частот с использованием дешевой элементной базы, основанная на методе полигонных измерений. Показана взаимосвязь эквивалентных частот, лежащих в различных диапазонах, и определены требования к минимальным размерам антенны.

Ключевые слова: диаграмма направленности, коэффициент направленного действия, апертура, прямофокусная зеркальная антенна, метод полигонных измерений, эквивалентная звуковая частота.

Одними из самых широко используемых антенн в диапазоне сверхвысоких частот являются антенны с плоским излучающим раскрывом или апертурные антенны. Поскольку это основной тип радиолокационных антенн, они находят применение в радионавигации, радиоастрономии, радиотелеуправлении, системах спутникового телевидения. Особенно широко распространены зеркальные и рупорные антенны, с помощью которых достаточно просто формируются диаграммы направленности (ДН) не только остронаправленные, но и специальной формы [1].

Диаграмма направленности или графическое представление зависимости коэффициента усиления (коэффициента направленного действия) антенны от направления антенны в заданной плоскости [2] является основной характеристикой, описывающей ее направленные свойства.

Существует несколько подходов к измерению диаграммы направленности, причем в большинстве случаев измеряется только амплитудная ДН.

Основными методами измерения диаграммы направленности являются следующие [1]:

- полигонные измерения в дальней зоне антенны;
- облет исследуемой антенны по заданной траектории;
- коллиматорный метод;
- апертурно-зондовый метод измерения в ближней зоне антенны;
- измерение диаграммы направленности на модели антенны.

При выборе способа измерения ДН существенное значение имеют экономические затраты, связанные со строительством измерительных антенных полигонов больших размеров, безэховых измерительных камер, и затраты на СВЧ измерительную аппаратуру [3]. Организация измерений ДН непосредственно в СВЧ-диапазоне

является достаточно дорогостоящим предприятием, в то время как стоимость генерирующих и приемных устройств для акустического (звукового) диапазона частот на несколько порядков ниже.

В настоящей работе для оценки формы амплитудной диаграммы направленности зеркальных антенн в СВЧ-диапазоне и на звуковых частотах предлагается использовать метод звукового эквивалента, основанный на идентичности числовых значений коэффициента направленного действия.

За основу предлагаемого метода выбран метод полигонных измерений ДН в дальней зоне антенны, поскольку в этом случае не требуется вносить изменения в конструкцию исследуемой антенны.

Упрощенная структурная схема метода полигонных измерений приведена на **рис. 1**. Исследуемая антенна 3, работающая в режиме приема, располагается на опорно-поворотном механизме 4. На расстоянии r в дальней зоне антенны расположена вспомогательная передающая антенна 2, возбуждаемая генератором 1. Приемное устройство 5 снабжено индикатором 6 мощно-

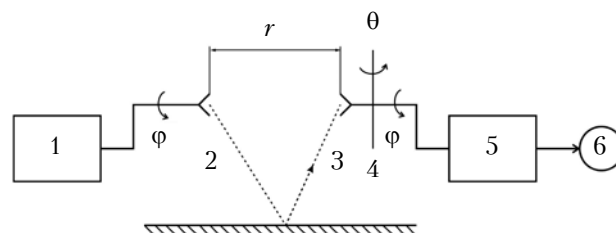


Рис. 1. Структурная схема полигонного метода измерения ДН:

1 — генератор; 2 — вспомогательная передающая антенна; 3 — исследуемая антенна; 4 — опорно-поворотный механизм; 5 — приемное устройство; 6 — индикатор

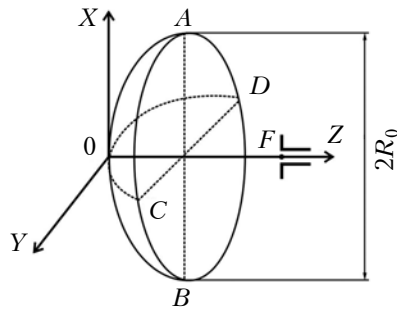


Рис. 2. Конструкция прямофокусной зеркальной антенны с рефлектором в виде параболоида вращения (OF — фокусное расстояние)

сти, поступающей на вход приемного устройства. Зависимость показаний индикатора от угла поворота θ антенны 4 при фиксированном угле φ является сечением ДН по мощности.

Поскольку форма рефлектора зеркальной параболической антенны и профили пирамидального и конического рупоров не зависят от частоты, их направленные свойства можно измерять в звуковом диапазоне частот. При этом эквивалентная звуковая частота должна обеспечивать то же значение коэффициента направленного действия (**КНД**), что и в СВЧ-диапазоне.

Определим требования к эквивалентным параметрам схемы акустического измерителя ДН на примере прямофокусной зеркальной антенны (рис. 2).

Коэффициент направленного действия апертурных антенн и плоских антенных решеток [4] в направлении главного максимума определяется соотношением

$$D_0 = \frac{4\pi S_a}{\lambda^2} \nu, \quad (1)$$

где ν — коэффициент использования поверхности, зависящий от амплитудного распределения поля в раскрытии параболоида, $0 < \nu \leq 1$ ($\nu=1$ в случае равномерного распределения поля);

λ — рабочая длина волны;

S_a — площадь апертуры (для прямофокусной зеркальной параболической антенны $S_a = \pi R_0^2$ — площадь раскрытия параболоида, где R_0 — радиус рефлектора).

Длина электромагнитной волны связана со скоростью света C ($3 \cdot 10^8$ м/с) и ее рабочей частотой f :

$$\lambda = \frac{C}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}. \quad (2)$$

Коэффициент направленного действия антенны в звуковом диапазоне частот определяется как

$$D_{03} = \frac{4\pi S_a}{\lambda_3^2}. \quad (3)$$

Рабочая длина звуковой волны связана со скоростью звука C_{3B} (равна 340 м/с при 20°C и атмосферном давлении $P=101$ кПа) и с ее рабочей частотой f_3 :

$$\lambda_3 = \frac{C_{3B}}{f_3} = \frac{340}{f_3}. \quad (4)$$

Определим частоту звукового диапазона, при которой коэффициент направленного действия будет таким же, как в СВЧ-диапазоне (т. е. $D_{03}=D_0$), при неизменных геометрических параметрах антенны.

Для определенности примем, что амплитудный закон распределения электромагнитного поля в раскрытии рефлектора является равномерным, т. е. $\nu=1$. Приравняв выражения (1) и (3) и проведя преобразования с учетом формул (2) и (4), получим

$$\frac{f_3}{C_{3B}} = \frac{f}{C}. \quad (5)$$

Таким образом, частоты в звуковом и в электромагнитном диапазонах связаны между собой следующими тождественными выражениями:

$$f_3 = \frac{f C_{3B}}{C}, \quad f = \frac{f_3 C}{C_{3B}}. \quad (6)$$

Следует отметить, что направленное распространение имеет плоская звуковая волна, которая образуется в том случае, если минимальный линейный размер излучателя превышает длину волны. Преобразование плоской волны в сферическую в рефлекторе зеркальной параболической антенны произойдет в том случае, если диаметр антенны больше длины принятой волны.

В таблице приведены эквивалентные частоты звукового и электромагнитного диапазона, а также соответствующие им минимальные размеры приемной антенны.

Структурная схема измерителя ДН в звуковом диапазоне приведена на рис 3.

Эквивалентные частоты звукового и СВЧ-диапазонов и соответствующие им значения минимального радиуса рефлектора

F_3 , кГц	F , ГГц	$R_0=\lambda_3$, м	F_3 , кГц	F , ГГц	$R_0=\lambda_3$, м
1	0,88	0,34	11	9,7	0,031
2	1,76	0,14	12	10,6	0,028
3	2,64	0,11	13	11,5	0,026
4	3,52	0,085	14	12,35	0,024
5	4,41	0,07	15	13,23	0,023
6	5,29	0,057	16	14,11	0,021
7	6,18	0,048	17	15	0,02
8	7,06	0,042	18	15,88	0,018
9	7,94	0,038	19	16,76	0,018
10	8,82	0,034	20	17,65	0,017

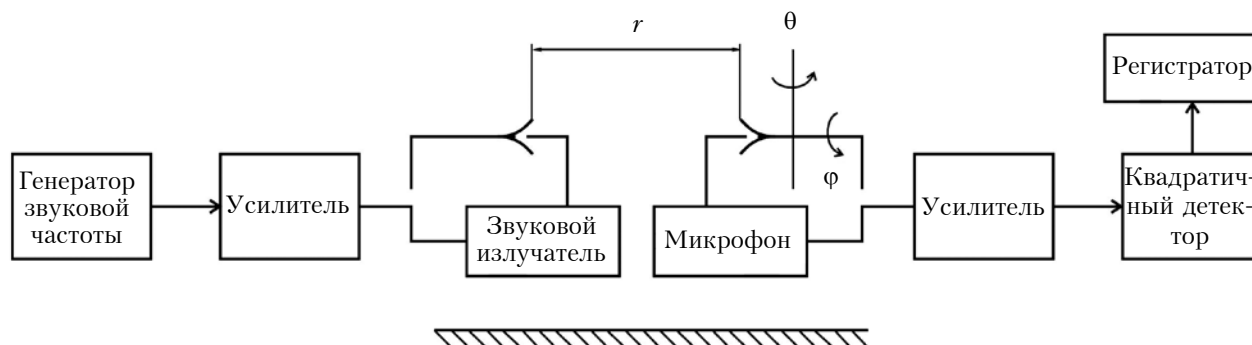


Рис. 3. Структурная схема измерителя диаграммы направленности в звуковом диапазоне

В предложенной схеме измерителя ДН в качестве излучателя звуковой волны можно использовать, например, акустический рупор с экспоненциальным профилем, обеспечивающим согласование акустических сопротивлений излучателя и воздушной среды.

В фокусе параболоида вращения устанавливается ненаправленный микрофон, амплитудно-частотная характеристика которого позволяет проводить измерения в заданном диапазоне частот. Выход микрофона можно подключать через усилитель и квадратичный детектор к аналоговому либо цифровому вольтметру, осциллографу, низкочастотному анализатору спектра и т. д.

Заключение

Предложенная схема для измерения диаграммы направленности зеркальных параболических антенн в звуковом диапазоне частот позволяет добиться существенного сокращения материальных затрат на организацию и проведение полигонных испытаний с целью оценки характеристик направленности апертурных антенн. Также ее можно применять для измерения характери-

стик направленности пирамидальных и конических рупорных антенн, линейные размеры апертуры которых превышают длину эквивалентной звуковой волны.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток / Под ред. Д. И. Воскресенского. – Москва: Радио и связь, 2012.
2. Цифровая обработка сигналов и изображений в радиофизических приложениях / Под ред. В. Ф. Кравченко. – Москва: Физматлит, 2011.
3. Зелкин Е.Г., Кравченко В. Ф., Гусевский В. И. Конструктивные методы аппроксимации в теории антенн. – Москва: Сайнс-Пресс, 2005.
4. Садченко А.В., Кушниренко О.А., Троянский О.В. Алгоритм синтеза линейных антенных решеток с требуемой диаграммой направленности и целочисленными амплитудными коэффициентами // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2015. – № 2-3. – С. 15–18. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.2-3.15>

Дата поступления рукописи
в редакцию 20.11 2015 г.

А. В. САДЧЕНКО, О. А. КУШНИРЕНКО,
М. Т. АЛЬХАМІДІ, А. М. АЛХАДІ

Україна, Одеський національний політехнічний університет
E-mail: anjand@mail.ru, kuuk@mail.ru

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ АМПЛІТУДНОЇ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНОСТІ ДЗЕРКАЛЬНИХ ПАРАБОЛІЧНИХ АНТЕН В ЗВУКОВОМУ ДІАПАЗОНІ ЧАСТОТ

Вимірювання діаграми спрямованості апертурних антен безпосередньо в мікрохвильовому діапазоні потребує достатньо великих витрат. Водночас, вартість генерувальних та приймальних пристроїв для частот акустичного діапазону є на кілька порядків меншою. В даній роботі запропоновано методику вимірювання спрямованих властивостей дзеркальних параболических антен в звуковому діапазоні частот з використанням дешевої елементної бази. За основу обрано метод полігонних вимірювань, який не потребує внесення змін до конструкції антени, що досліджується. Показано взаємозв'язок еквівалентних частот, що лежать в різних діапазонах, і визначено вимоги до мінімальних розмірів антени.

Ключові слова: діаграма спрямованості, коефіцієнт спрямованої дії, апертура, прямофокусна дзеркальна антена, метод полігонних вимірювань, еквівалентна звукова частота.

METHOD OF MEASURING THE AMPLITUDE DIRECTIVITY PATTERN
OF PARABOLIC MIRRORED ANTENNAS IN THE AUDIO FREQUENCY RANGE

Directivity pattern (DP) or graphical representation of the dependence of gain factor (directivity gain) of antennas on the direction of the antenna in the target plane is the main characteristic that describes its directional properties.

Running DP measurements directly in the microwave range is very expensive. While generating and receiving devices for the acoustic frequency range are reasonably priced.

In this paper, we propose a method for measuring the amplitude directivity pattern of parabolic mirrored antennas on the basis of sound equivalent, which is based on the identity of the numerical values of the directivity gain of microwave range, and at audio frequencies.

The paper presents analytical expressions for the calculation of equivalent frequency and defines the requirements for the minimum size of the antenna.

The paper contains a modified block diagram for an amplitude directivity pattern meter for parabolic mirrored antennas in the audio frequency range.

Keywords: *directivity pattern, directional factor, aperture, direct focal reflector antenna, polygon measurements method, equivalent audio frequency.*

REFERENCES

1. *Ustroistva SVCh i anteny. Proektirovanie fazirovannykh antennoykh reshetok* [Microwave devices and antennas. The design of phased antenna arrays]. Ed. by D.I. Voskresenskii. Moscow, Radio i svyaz', 2012, 746 p. (Rus)
2. *Tsifrovaya obrabotka signalov i izobrazhenii v radiofizicheskikh prilozheniyakh* [Digital signal and image processing applications in radiophysical]. Ed. by V.F. Kravchenko. Moscow, Fizmatlit, 2011, 544 p. (Rus)

3. Zelkin E.G., Kravchenko V. F., Gusevskii V. I. *Konstruktivnye metody approksimatsii v teorii anten* [Constructive methods of approximation in the theory of antennas]. Moscow, Sains-Press, 2005, 512 p. (Rus)
4. Sadchenko A. V., Kushnirenko O. A., Troyansky A. V. [Algorithm for the synthesis of linear antenna arrays with desired radiation pattern and integral amplitude coefficients]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2015, no 2-3, pp. 15-18. <http://dx.doi.org/10.15222/TKEA2015.2-3.15> (Rus)

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Бурачок Р. А., Климаш М. М., Коваль Б. В. Телекомунікаційні системи передавання інформації. Методи кодування.— Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015.

Розглянуто питання організації систем передавання даних та методів кодування та декодування двійкової інформації. Описано принципи побудови типових двійкових кодів та наведено їх характеристики. Для найчастіше використовуваних на практиці кодів наведено структурні схеми кодерів і декодерів та алгоритми їхньої роботи.

Для студентів напрямів “Телекомунікації”, “Інформаційні мережі зв'язку” та ін., а також для інженерно-технічних працівників, які займаються розробленням і створенням систем передавання інформації. Для самоперевірки рівня засвоєння матеріалу у кінці кожної глави наведено відповідні питання та задачі.

