

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОЛЛИМАТОРНОГО МЕТОДА АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В.Е. Драч, И.В. Чухраев, Р.О. Бут

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга

Предложен способ расширения возможностей коллиматорного стенда антенных измерений. Рассматривается структура автоматизированного комплекса коллиматорного метода антенных измерений, позволяющего повысить точность оценки максимального уровня боковых лепестков диаграммы направленности в сечениях, отличных от главного. Разработана методика измерения объемных ДН на компактном полигоне и структура автоматизированного комплекса коллиматорного метода антенных измерений, которая реализует данную методику. В результате исследования было выяснено, что разработанная методика позволяет значительно снизить трудоемкость измерений и время их проведения, исключить влияние человеческого фактора на допускаемые погрешности, а также повысить точность оценки максимального уровня боковых лепестков ДН в сечениях, отличных от главного.

Ключевые слова: антенна, антенные измерения, коллиматор, безэховая камера, диаграмма направленности, боковые лепестки.

Введение

При проведении антенных измерений необходимо, чтобы амплитудный и фазовый фронт волны, падающей от вспомогательного источника на антенну, можно было бы считать плоским на ее раскрыве. Этого можно достигнуть двумя способами. Во-первых, измеряя параметры антенн в дальней зоне на открытых полигонах, на которых испытываемую антенну и вспомогательный источник электромагнитных волн разносят на значительные расстояния, составляющие для современных остроуправленных антенн тысячи и даже десятки тысяч метров. При этом велика вероятность ошибок, связанных с отражением от поверхности земли, местных и удаленных отражающих предметов. Во-вторых, применяя измерения характеристик антенн в ближней зоне их излучения различными методами, наиболее простым и распространенным из которых является коллиматорный [1, 2].

При коллиматорном методе измерений поле вспомогательного источника электромагнитных волн, близкое к полю плоской волны, создается с помощью вспомогательной антенны 5 коллиматора, расположенной в непосредственной близости от испытываемой антенны, фактически в ближней зоне. В качестве коллиматора, как правило, используют зеркальные антенны, хотя могут быть использованы и другие типы антенн: линзовые, рупорные, антенные решетки и др. При этом желательно применять облучатели коллиматоров со сравнительно узкой диаграммой направленности, чтобы уровень поля, падающего на кромку зеркала коллиматора, был минимальным [3, 4]. Коллиматор помещают в безэховую камеру, стенки, пол и потолок которой покрыты радиопоглощающим материалом. Устройство, состоящее из коллиматора, безэховой камеры и поворотного устройства, предназначенного для вращения антенны в процессе измерения диаграммы направленности (ДН), принято называть «компактным полигоном» (рис. 1) [5].

Несмотря на высокие стоимостные характеристики, трудоемкости монтажных и настроечных работ на зеркале коллиматора, компактные полигоны на его основе используются весьма широко. Это можно объяснить следующими факторами [5]:

- а) хорошей изученностью коллиматорного метода измерений;
- б) широкополосностью коллиматора, а значит – потенциальной широкополосностью всего полигона;
- в) оперативностью проводимых измерений;
- г) возможностью проведения измерений параметров активной фазированной антенной решетки (АФАР) на высоком уровне мощности без применения специализированных методов. Следует подчеркнуть важность данного фактора для учета влияния тепловых режимов АФАР на диаграммообразование;

Краткие сообщения

д) возможностью модернизации отдельных составных частей полигона, позволяющей повысить точность измерений и реализовать практически сложные методы обработки сигнала (поляризационный, во временной и частотной области и др.) без проведения глубокой модернизации.

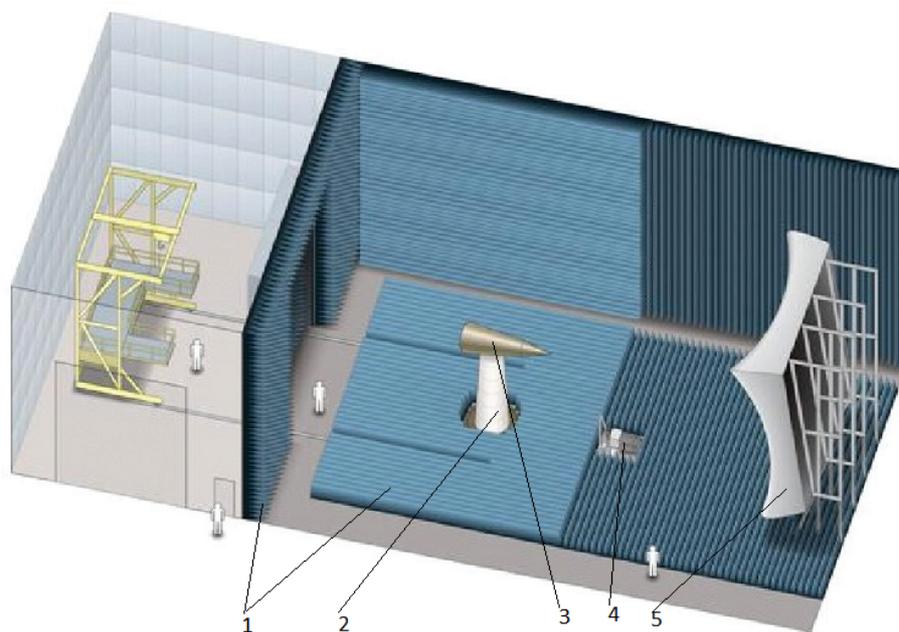


Рис. 1. Компактный антенный полигон на основе зеркального коллиматора: 1 – радиопоглощающий материал; 2 – поворотное устройство; 3 – исследуемая антенна; 4 – облучатель; 5 – коллиматор

Постановка задачи

При проведении измерений параметров антенн коллиматорным методом сложно произвести оценку максимума боковых лепестков ДН как в главных сечениях, так и в сечениях, отличных от главного. Особенности классической методики измерений таковы, что первоначально производится поиск максимума сигнала при угловых вариациях антенны, а затем проводится измерение диаграммы направленности в двух главных сечениях главного лепестка [1].

Целью данной работы является повышение точности оценки уровня боковых лепестков (УБЛ) ДН при коллиматорном методе антенных измерений на базе методики измерения объемных ДН на компактном полигоне и автоматизированного программно-аппаратного комплекса, реализующего данную методику.

Методика измерения объемных ДН на компактном полигоне

Для полной оценки боковых лепестков необходимо и достаточно знать объемную амплитудную ДН вида $F(\theta, \varphi)$, где θ – вертикальная угловая координата: $\theta \in [\theta_{\min}, \theta_{\max}]$; φ – горизонтальная угловая координата $\varphi \in [\varphi_{\min}, \varphi_{\max}]$. Где величины θ_{\min} , θ_{\max} и φ_{\min} , φ_{\max} определяют рабочую зону сканирования.

При классическом методе измерения ДН оценка УБЛ проводится на основе анализа функции $F(\theta, \varphi)$ в главных сечениях $\theta_{\text{гл}}$ и $\varphi_{\text{гл}}$ (для горизонтальной и вертикальной плоскости соответственно): $F(\theta_{\text{гл}}, \varphi) = F(\varphi)$ и $F(\theta, \varphi_{\text{гл}}) = F(\theta)$. Направление с угловыми координатами $(\theta_{\text{гл}}, \varphi_{\text{гл}})$ имеет наибольший уровень сигнала или определяется как центр главного лепестка ДН по уровню 3 дБ.

Методика измерения объемных ДН антенн на коллиматорном стенде с использованием двухосных опорно-поворотных устройств следующая:

1. Задаемся минимальным необходимым шагом измерения ДН по обеим координатам:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{0,5}}{5\dots7}, \quad \Delta\varphi = \frac{\varphi_{0,5}}{5\dots7},$$

где $\theta_{0,5}$ и $\varphi_{0,5}$ – ширины ДН.

2. Ориентируя последовательно антенну в точки с угловой координатой (θ_i, φ_j) , измеряется амплитуда на выходе антенны A_{ij} , где $i \in [1 \dots N]$, $j \in [1 \dots M]$, $N = [(\theta_{\max} - \theta_{\min}) / \Delta\theta]$, $M = [(\varphi_{\max} - \varphi_{\min}) / \Delta\varphi]$.

3. Нормируются значения A_{ij} на величину A_{\max} : $F_{ij} = A_{ij} / A_{\max}$, где $A_{\max} = \max(A_{ij})$.

4. Строится поверхностная кривая $F(\theta, \varphi)$ с помощью аппроксимации ряда значений $F(\theta_i, \varphi_j)$, где $\theta = \theta_{\min} + i\Delta\theta$; $\varphi = \varphi_{\min} + j\Delta\varphi$.

Автоматизированный комплекс коллиматорного метода антенных измерений

Конструктивно и территориально комплекс состоит из двух обособленных частей: управляющей вычислительной части, в которой сосредоточены устройства управления и регистрации измерений, и безэховой камеры со вспомогательным, силовым и СВЧ оборудованием (рис. 2).

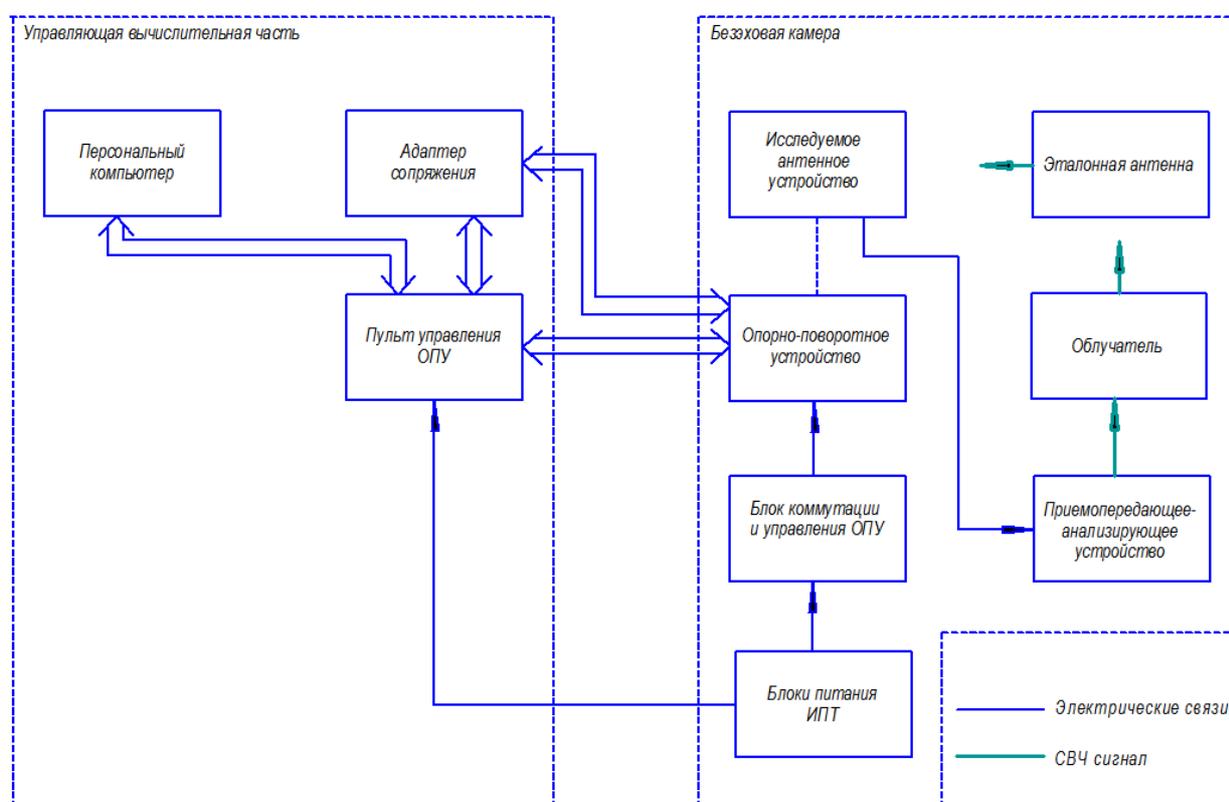


Рис. 2. Структурная схема автоматизированного комплекса коллиматорного метода антенных измерений

Управляющей вычислительной частью осуществляется регистрация результатов измерений. Пульт управления (ПУ) ОПУ (рис. 3) обеспечивает управление подачей питающих напряжений на его приводы. Пульт посредством интерфейса USB 2.0 связан с персональным компьютером (ПК). Таким образом осуществляется возможность ручного и автоматического измерения ДН с ПК и с ПУ ОПУ.

В безэховой камере размещены опорно-поворотное устройство (ОПУ), на которое устанавливается исследуемая антенна, коллиматор в совокупности с облучателем для создания квазиплоского электромагнитного поля и приемопередающее анализирующее устройство (ПАУ) для запитки облучателей энергией СВЧ и регистрации отношения уровней.

Режимы работы комплекса:

1. Ручной режим измерения ДН (управление приводами ОПУ осуществляется с ПУ, а прием информации – вычислительным регистрационным блоком).

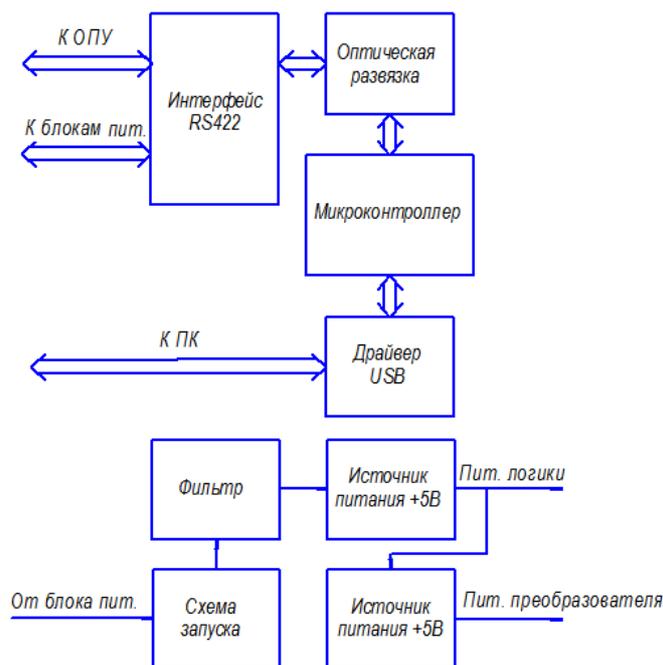


Рис. 3. Структурная схема пульта управления ОПУ

ошибки возникают под влиянием некоторого множества факторов, независимых по своему действию и природе. Будем считать, что вероятность появления таких ошибок подчиняется нормальному закону распределения. На основе свойства дисперсии суммы независимых случайных величин и табличных значений доверительных интервалов, нетрудно доказать, что максимальная погрешность определения УБЛ с вероятностью 0,997 не превысит величину:

$$\Delta A_{\text{бл}} = 3 \Delta A_{\text{бл}} = 3 \sqrt{\sigma_{\text{си}}^2 + (k_{\theta} \sigma_{\text{ОПУ}}^{\theta})^2 + (k_{\varphi} \sigma_{\text{ОПУ}}^{\varphi})^2 + \sigma_{\text{АФР}}^2 + (k_{\theta} \sigma_{\text{АСУ}}^{\theta})^2 + (k_{\varphi} \sigma_{\text{АСУ}}^{\varphi})^2},$$

где $\sigma_{\text{АСУ}}^{\theta}$, $\sigma_{\text{АСУ}}^{\varphi}$ – погрешность выезда антенны в точку с угловыми координатами (θ_i, φ_i) (θ_i, φ_i); $\sigma_{\text{ОПУ}}^{\theta}$, $\sigma_{\text{ОПУ}}^{\varphi}$ – погрешность регистрации углового положения антенны; $\sigma_{\text{си}}$ – погрешность средств измерения, включающая в себя погрешность приема, измерения и регистрации СВЧ-мощности; $\sigma_{\text{АФР}}$ – погрешность, обусловленная отклонением вторичного поля коллиматора от равномерного по фазе и амплитуде.

$$k_{\varphi} = \frac{1}{2} \max \left(\frac{dF}{d\varphi} \right) \text{ или } k_{\varphi} = \frac{\max(A_i - A_{i-1})}{2 \cdot \Delta\varphi},$$

$$k_{\theta} = \frac{1}{2} \max \left(\frac{dF}{d\theta} \right) \text{ или } k_{\theta} = \frac{\max(A_i - A_{i-1})}{2 \cdot \Delta\theta}.$$

Главный вклад в погрешность измерений при коллиматорном методе вносят краевые волны, значит [1]:

$$\sigma_{\text{АФР}} = \frac{g[r \sin(\varphi_0 - \theta)]}{kD \sin \theta}, \text{ для } \theta > \varphi_0 - \varphi_1,$$

$$g(x) = \frac{|J(x)|}{\left| \frac{1}{D} \int_{-D/2}^{D/2} J(x) dx \right|}, \quad r = \frac{H}{\cos \varphi_0},$$

2. Ручной режим измерения ДН с ПК (управление приводами ОПУ и прием информации осуществляется с ПК).

3. Автоматический режим измерения ДН с ПК (измерение главного сечения ДН полностью автоматизирован).

4. Автоматический режим измерения объемной ДН (измерение нескольких сечений ДН и последующее построение объемной ДН автоматизирован).

5. Ручное управление углом поворота антенны θ и φ .

6. Автоматический выезд антенны на заданные угловые координаты (θ_i, φ_j) .

Методика оценки погрешности нахождения максимума боковых лепестков

Методика измерения ДН значительно изменилась по сравнению с классической, поэтому погрешность определения УБЛ можно определить методом суперпозиции ряда случайных ошибок. Эти

$$\sin \varphi_0 = \frac{P_k}{\sqrt{1+P_k^2}}, \sin \varphi_1 = \frac{P}{\sqrt{1+P^2}},$$

$$P_k = \frac{D_k}{2H}, P = \frac{D}{2H},$$

где D_k , D – размеры раскрыва коллиматора и исследуемой антенны; $J(x)$ – амплитудное распределение тока в антенне; H – расстояние между коллиматором и центром исследуемой антенны.

Заключение

Разработанная методика измерения объемных ДН на компактном полигоне и структура автоматизированного комплекса коллиматорного метода антенных измерений, реализующего данную методику, позволяют значительно снизить трудоемкость измерений и время их проведения, исключить влияние человеческого фактора на допускаемые погрешности, а также повысить точность оценки максимального уровня боковых лепестков ДН в сечениях, отличных от главного.

Литература

1. Pozar, D.M. *Microwave Engineering* / D.M. Pozar. – 3rd edition. – New York: Wiley, 2011. – 720 p.
2. Balanis, C.A. *Antenna Theory: Analysis and Design* / C.A. Balanis. – New York: Wiley, 2005. – 1136 p.
3. Рупорный облучатель с диаграммой направленности специальной формы / А.Г. Белоусов, А.А. Ганичев, В.Е. Драч, И.В. Чухраев // *Вопросы радиоэлектроники*. – 2012. – Т. 1, № 3. – С. 43–50.
4. Kraus, J.D. *Electromagnetics* / J.D. Kraus. – 4th edition. – New York: McGraw-Hill, 1992. – 828 p.
5. Самбуров, Н.В. Компактный антенный полигон в условиях геометрически ограниченных помещений / Н.В. Самбуров, Д.Ю. Рыбаков, Н.Г. Иванов // *Электромагнитные волны и электронные системы*. – 2014. – Т. 19, № 10. – С. 25–32.

Драч Владимир Евгеньевич, доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга; drach@kaluga.org.

Чухраев Игорь Владимирович, доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга, igor.chukhraev@mail.ru.

Бут Роман Олегович, студент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, г. Калуга; madara_40_rus@mail.ru.

Поступила в редакцию 17 февраля 2015 г.

DOI: 10.14529/ctcr150215

FUNCTIONAL ENHANCEMENTS OF THE COLLIMATOR ANTENNA MEASUREMENTS TECHNIQUE

V.E. Drach, Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), Kaluga, Russian Federation, drach@kaluga.org,

I.V. Chukhraev, Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), Kaluga, Russian Federation, igor.chukhraev@mail.ru,

R.O. But, Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), Kaluga, Russian Federation, madara_40_rus@mail.ru

A method of functional enhancements of the collimator antenna measurements is proposed. The structure of the automated complex collimator antenna measurement technique is described; the technique allows to improve the estimation accuracy of the maximum level of the side lobes in sec-

tions different from the main one. A method of measuring of 3D directional pattern is developed. The structure of automated complex of collimator antenna measurement technique is offered. It has been found out that the developed method allows to reduce the complexity and laboriousness of measurements significantly, to eliminate the human factor and to improve the estimation accuracy of the maximum level of the side lobes.

Keywords: antenna, antenna measurements, collimator, anechoic chamber, directional pattern, side lobes.

References

1. Pozar D.M. *Microwave Engineering*. 3rd ed. New York, Wiley, 2011. 720 p.
2. Balanis C.A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. New York, Wiley, 2005. 1136 p.
3. Belousov A.G., Ganichev A.A., Drach V.E., Chukhraev I.V. [Horn Radiator with Special Geometry Radiation Pattern]. *Radioelectronics Questions*, 2012, vol. 1, no. 3, pp. 43–50. (in Russ.)
4. Kraus J.D. *Electromagnetics*. 4th ed. New York, McGraw-Hill, 1992, 828 p.
5. Samburov N.V., Rybakov D.Yu., Ivanov N.G. [Compact Antenna Range at Conditions of Geometrically Limited Premises]. *Electromagnetic Waves and Electronic Systems*, 2014, vol. 19, no. 10, pp. 25–32. (in Russ.)

Received 17 February 2015

БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Драч, В.Е. Расширение функциональных возможностей коллиматорного метода антенных измерений / В.Е. Драч, И.В. Чухраев, Р.О. Бут // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 125–130. DOI: 10.14529/ctcr150215

REFERENCE TO ARTICLE

Drach V.E., Chukhraev I.V., But R.O. Functional Enhancements of the Collimator Antenna Measurements Technique. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 125–130. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr150215