

УДК 621.391.82

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНЫХ АМПЛИТУДНЫХ ОШИБОК ВОЗБУЖДЕНИЯ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ РЕШЕТКИ

А.П. ЮБКО, А.А. ПОПОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь,

Поступила в редакцию 21 апреля 2014

Анализируется влияние двух типов случайных ошибок возбуждения излучателей в линейной антенной решетке. Первый тип – ошибки мультипликативные, второй тип – ошибки аддитивные. Сравнивается влияние этих двух типов на среднюю диаграмму направленности, ее параметры и параметры случайных реализаций.

Ключевые слова: линейная антенная решетка, случайные ошибки по амплитуде, мультипликативные, аддитивные.

Введение

В статистической теории антенн (СТА) подробно рассмотрено влияние фазовых ошибок возбуждения излучателей на статистические характеристики антенных решеток [1, 2]. Влияние амплитудных ошибок почти не рассмотрено. Только указано, что их влияние аналогично влиянию фазовых ошибок. Причем имелись в виду мультипликативные амплитудные ошибки, величина которых пропорциональна детерминированной амплитуде возбуждения излучателей. Такая ситуация не охватывает всех случаев жизни. В активных антенных решетках случайные ошибки по амплитуде, помимо описанных ранее источников их появления, обусловлены также случайными колебаниями коэффициентов передачи приемо-передающих модулей решетки. Связанные с этими колебаниями случайные ошибки возбуждения излучателей могут быть аддитивными. В статье анализируется этот вид ошибок в сравнении с мультипликативными ошибками. Анализ делается численно без ограничения на величину ошибок на примере линейной антенной решетки. Причем, как и в СТА, рассматривается множитель системы решетки. В этом случае влияние ошибок проявляется наиболее четко.

Постановка задачи и методика ее решения

Линейная решетка излучателей показана на рис. 1, где обозначено: N – число излучателей, $DL = \frac{D}{\lambda}$ – волновое расстояние между излучателями (D – физическое расстояние между излучателями, λ – длина волны); L – длина решетки.

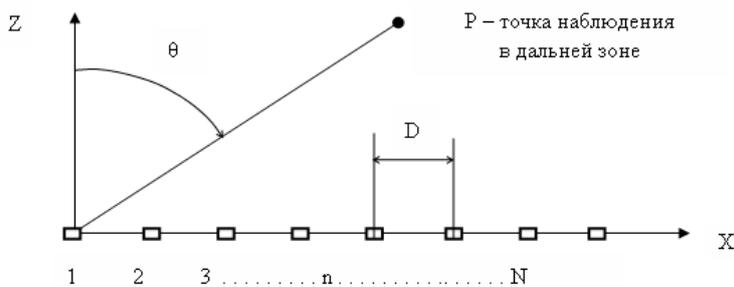


Рис. 1. Линейная антенная решетка

Численно анализируется множитель системы $F_c(\theta)$, определяемый выражением [3].

$$F_c(\theta) = \left| \sum_{n=1}^N A_n \exp[i\Psi_n + ikD(n-1)\sin\theta] \right|, \quad (1)$$

где n – номер излучателя ($1 \leq n \leq N$); A_n, Ψ_n – амплитудное и фазовое распределения возбуждения излучателей; $k = 2\pi/\lambda$; θ – угол наблюдения, отсчитываемый от нормали к линии расположения излучателей.

Амплитуда возбуждения A_n излучателя с номером « n » учитывает случайную ошибку. Рассматриваются две формы (типа) задания A_n .

Тип 1. Аддитивная ошибка:

$$A_n = A0_n + \Delta A_{n1}, \quad (2)$$

где $A0_n$ – детерминированное амплитудное распределение, задается в виде косинуса в степени P_a на подставке D_a ; ΔA_{n1} – центрированная случайная ошибка, не зависящая от детерминированного амплитудного распределения, меняющаяся по случайному закону в интервале $-0,5A_{\max} \dots 0,5A_{\max}$.

Тип 2 – как принято в СТА [1, 2]:

$$A_n = A0_n e^{B_n}, \quad (3)$$

где B_n – центрированная случайная величина, меняющаяся в интервале $-0,5B_{\max} \dots 0,5B_{\max}$.

Из (3) следует выражение для случайной ошибки возбуждения излучателя с номером « n »:

$$\Delta A_{n2} = A_n - A0_n = A0_n (e^{B_n} - 1). \quad (4)$$

Из (4) следует, что ошибка ΔA_{n2} зависит от детерминированного амплитудного распределения $A0_n$. Кроме того, при центрированной величине B_n ошибка ΔA_{n2} не будет центрированной.

Численный анализ множителя системы (1) показывает, что формы (2) и (3) приводят к разным результатам.

Случайная реализация множителя системы с номером « m » определяется выражением

$$F_{cm}(\theta) = \left| \sum_{n=1}^N A_{nm} \exp[i\Psi_n + ikD(n-1)\sin\theta] \right|, \quad (5)$$

где A_{nm} – случайная реализация амплитудного распределения с номером « m ».

Для определения средней диаграммы направленности (ДН), точнее среднего множителя системы, делалось усреднение 500 реализаций, и использовалась формула для среднего множителя системы;

$$F_c(\theta) = \frac{1}{M_r} \sum_{m=1}^{M_r} F_{cm}(\theta), \quad (6)$$

где M_r – число реализаций.

По средней ДН определялись: θ_{\max} – направление максимума главного лепестка средней ДН (множителя системы); $2\theta_{0,5}$ – ширина главного лепестка средней ДН; $F_{b\max}$ – максимальный боковой лепесток средней ДН; $S\theta_{\max}$ – среднее направление максимума главного лепестка; Ks – коэффициент рассеяния. При расчетах задавались значения A_{\max} – для ошибки типа 1 и B_{\max} – для ошибки типа 2. В качестве детерминированного фазового распределения (ФР) использовалось равномерное ФР, и случайная ошибка возбуждения излучателей по фазе полагалась равной нулю.

Результаты анализа

Различия во влиянии ошибок двух типов ΔA_{n1} и ΔA_{n2} демонстрируется на примере решеток с разным числом излучателей (N) и волновым расстоянием между соседними излучателями,

равным $D/\lambda=0,7$. Графики рис. 2 иллюстрируют ошибку типа 1 и типа 2 при $N=58$. На рисунке показана одна из 500 реализаций амплитудного распределения, спадающего к концам решетки для параметров $P_a = 1$, $D_a = 0,1$) амплитудного распределения с центрированной ошибкой: a – для ошибки типа 1 при $A_{\max} = 0,5$ и b – для ошибки типа 2 при $B_{\max} = 0,1$.

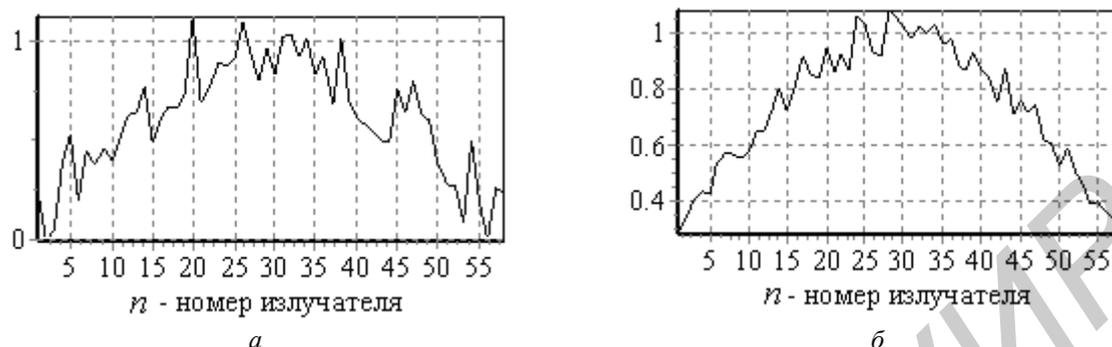


Рис. 2. Амплитудное распределение на решетке при спадающем к концам решетки АР:
 a – ошибка типа 1; b – ошибка типа 2

Как видно, ошибка типа 1 в центре решетки и на ее краях одинакова. Величина ошибки типа 2 максимальна в центральном излучателе и минимальна на краях решетки. При ошибке типа 2 уровень возбуждения крайних излучателей почти не меняется с учетом ошибки, но средний уровень возбуждения остальных излучателей и особенно центральных излучателей, за счет ошибки возрастает, т.е. уменьшается средний уровень возбуждения крайних излучателей по сравнению с центральным. Это должно привести к расширению главного лепестка ДН при увеличении значения случайной ошибки.

На рис. 3 показаны зависимости ширины главного лепестка и уровня боковых лепестков (УБЛ) средней диаграммы направленности от величины A_{\max} – для ошибки типа 1 и от величины B_{\max} – для ошибки типа 2 при равномерном детерминированном амплитудном распределении. Расчеты сделаны для решетки с числом излучателей $N = 10$ и $D/\lambda=0,7$. Как видно, при равномерном детерминированном амплитудном распределении влияние ошибок типа 1 и типа 2 практически одинаково, особенно при малых ошибках. Эти результаты соответствуют выводам СТА [1].

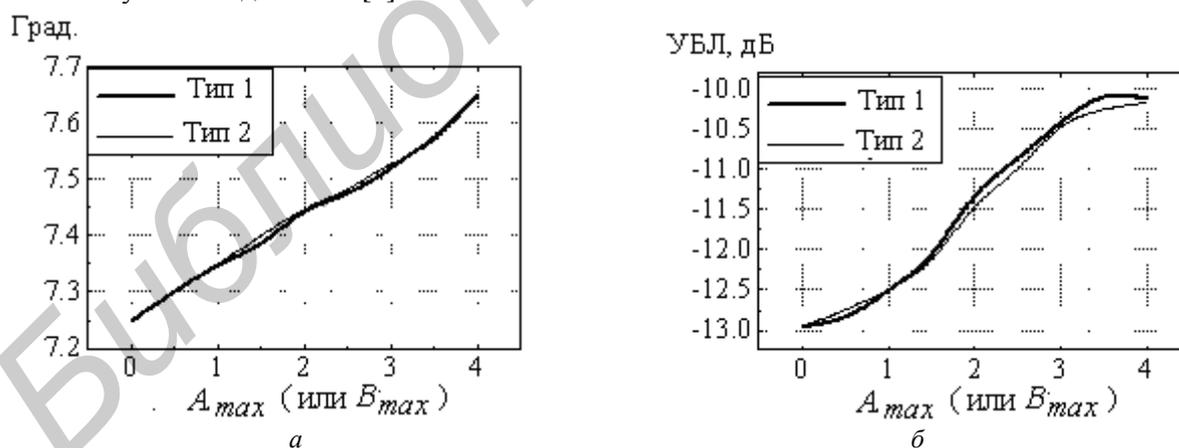


Рис. 3. Зависимость ширины главного лепестка (a) и максимального бокового лепестка (b) от величины случайной ошибки по амплитуде (детерминированное амплитудное распределение равномерное)

На рис. 4 показаны зависимости ширины главного лепестка, уровня боковых лепестков средней ДН от величины A_{\max} – для ошибки типа 1 и от величины B_{\max} – для ошибки типа 2 при спадающем к концам решетки детерминированном амплитудном распределении ($P_a = 1$; $D_a = 0,1$). Различие в результатах влияния ошибок типа 1 и типа 2 особенно заметно проявляется на ширине главного лепестка (рис. 4, a). Уровень боковых лепестков (рис. 4, b) увеличивается меньше при ошибке типа 2. Это связано с тем, что с ростом ошибки типа 2 в среднем

амплитудном распределении уменьшается уровень возбуждения крайних излучателей, что ведет к некоторому уменьшению уровня боковых лепестков, как отмечено выше.

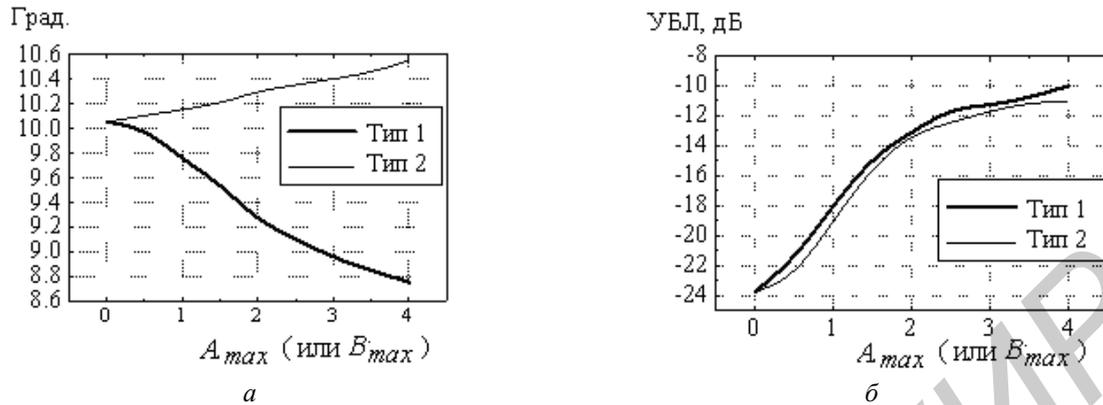


Рис. 4. Зависимость ширины главного лепестка (а) и уровня боковых лепестков (б) от величины случайной ошибки по амплитуде (детерминированное амплитудное распределение, спадающее к краям решетки ($P_a = 1$; $D_a = 0,1$))

Рис. 5 дополнительно иллюстрируют влияние ошибок 1 и 2 на диаграмму направленности для решетки с числом излучателей $N = 10$ и $D/\lambda = 0,7$. На рис. 6 показаны средние ДН без ошибки (а), для ошибки типа 1 (б) и типа 2 (в). Проведено усреднение 500 случайных реализаций. Из рис. 5 следует, что с увеличением ошибки типа 2 (мультипликативной) ширина главного лепестка увеличивается, что давно показано в СТА [1]. При увеличении ошибки типа 1 (аддитивной) ширина главного лепестка уменьшается. При увеличении случайной ошибки обоих типов уровень боковых лепестков увеличивается. При малых значениях ошибок типа 1 и 2 различие в ширине главного лепестка ДН без ошибки и с ошибкой незначительны. Влияние случайной ошибки на уровень боковых лепестков значительно.

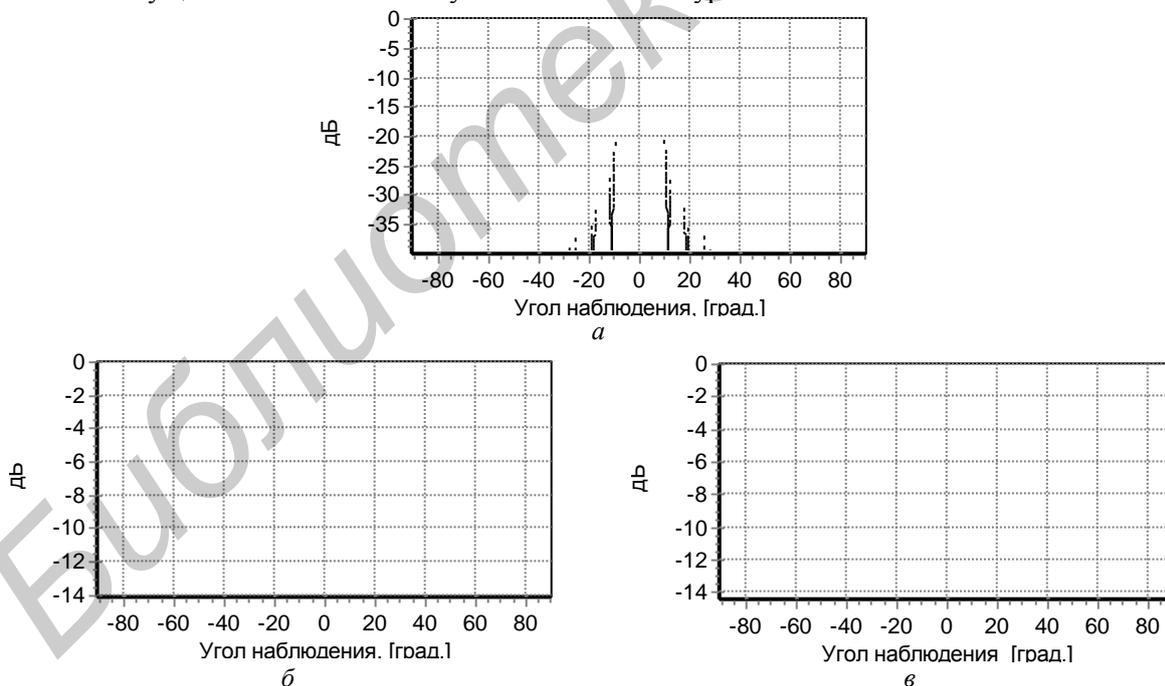


Рис. 5. Средняя ДН антенной решетки: а – без ошибки ($2\theta_{0,5} = 8,95^\circ$; $F_{bm} = -22,43$ дБ); б– для ошибки типа 1 при $A_{max} = 2,5$ ($2\theta_{0,5} = 8,65^\circ$; $F_{bm} = -11,91$ дБ); в – для ошибки типа 2 при $B_{max} = 2,5$ ($2\theta_{0,5} = 9,15^\circ$; $F_{bm} = -12,90$ дБ)

Особенностью амплитудной ошибки по сравнению с фазовой ошибкой является то, что рост величины максимальной ошибки A_{max} для типа 1 и B_{max} для ошибки типа 2 приводит к проявлению как бы дискретного амплитудного распределения, т.е. решетка превращается в неэквидистантную. На рис. 6 показано амплитудное распределение с учетом большой

случайной амплитудной ошибки типа 1 ($A_{\max} = 5$) и соответствующая средняя диаграмма направленности для решетки с $N = 58$; $D_a = 0,1$; $P_a = 1$. Параметры ДН: $2\theta_{0,5} = 1,36^\circ$, максимальный УБЛ равен $-14,2$ дБ. Без случайной ошибки ($A_{\max} = 0$) $2\theta_{0,5} = 1,45^\circ$, максимальный УБЛ равен $-20,8$ дБ.

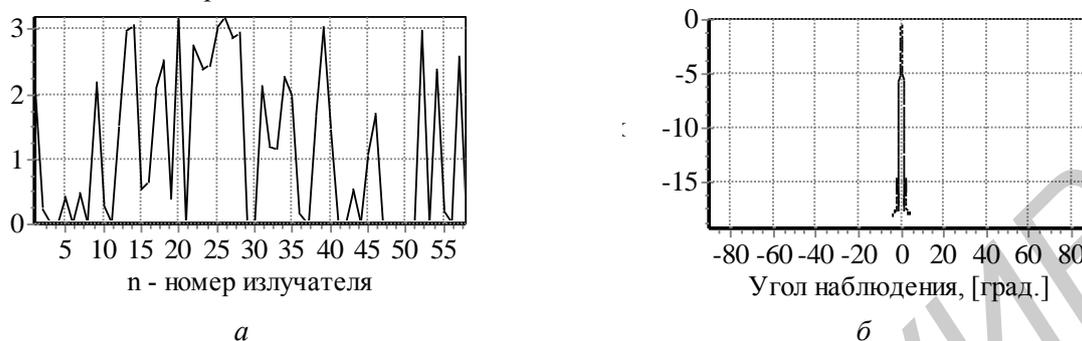


Рис. 6. Случайная реализация амплитудного распределения (а) и средняя ДН (б) для ошибки типа 1

На рис. 7 показаны те же графики для случайной ошибки типа 2 ($B_{\max} = 5$). Параметры ДН: $2\theta_{0,5} = 1,65^\circ$, максимальный УБЛ равен $-17,6$ дБ.

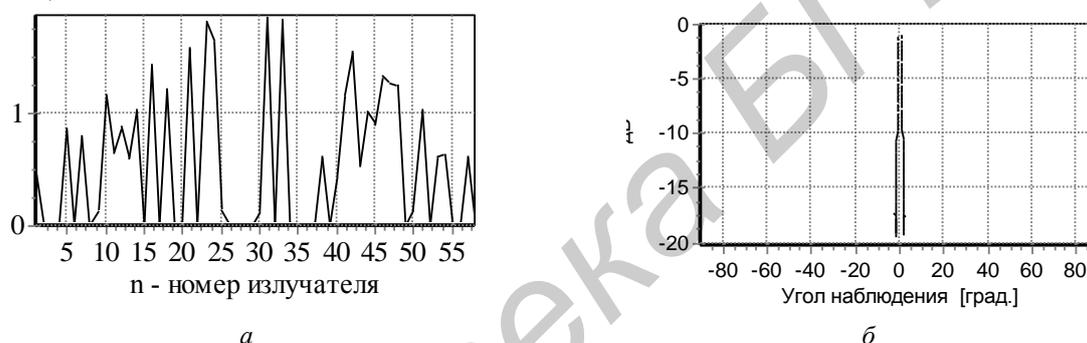


Рис. 7. Случайная реализация амплитудного распределения (а) и средняя ДН (б) для ошибки типа 2

Заключение

Рассмотрены особенности влияния аддитивной и мультипликативной случайных ошибок возбуждения излучателей на диаграмму направленности линейной антенной решетки. Показано, что главное отличие во влиянии этих ошибок заключается в том, что при увеличении аддитивной ошибки главный лепесток несколько сужается, а при увеличении мультипликативной ошибки – расширяется. Особенностью влияния амплитудной ошибки обоих типов по сравнению с фазовой ошибкой является то, что при увеличении ошибки ДН не становится изотропной.

THE FEATURES OF ANTENNA ARRAY RADIATOR EXCITATION AMPLITUDE RANDOM ERRORS EFFECT

A.P. JOUBKO, A.A. POPOV

Abstract

Two types of linear antenna array radiator excitation random errors are analyzed. The first type is multiplicative errors, the second type is additive errors. The effect of these two types on average antenna pattern, pattern parameters, random realization parameters is analyzed.

Список литературы

1. Шифрин Я.С. Вопросы статистической теории антенн. М., 1970.
2. Шифрин Я.С., Корниенко Л.Г. // Антенны. 2000. Вып. 1 (44). С. 1–24.
3. Никольский В.В. Антенны. М., 1966.