

Особенности диаграммы направленности многомодульной антенной решётки при ступенчатом амплитудном распределении возбуждения излучателей

Рассмотрены два вида амплитудного распределения возбуждения излучателей) в плоской антенной решетке с модульным построением. Приведены результаты расчета диаграммы направленности антенны.

Ключевые слова: многомодульная антенная решётка, ступенчатое амплитудное распределение

В антенных решётках используются различные виды амплитудного распределения. От вида и параметров амплитудного распределения зависят многие характеристики решётки. Несмотря на широкое освещение этого вопроса в литературе [1-3], есть необходимость в рассмотрении дополнительных вопросов. В настоящем докладе приводятся результаты численного моделирования плоской антенной решетки (ПАР) с модульным построением при непрерывном и ступенчатом амплитудном распределении (АР).

Исследовались ПАР с различными геометрическими параметрами, но иллюстрация результатов исследования делается на одном примере: число модулей по горизонтали равно $M \times 1$, по вертикали $M_y = 1$, в каждом модуле расположено N_x столбцов по $N_y = 8$ излучателей, расстояние между столбцами и расстояние между излучателями в столбцах D_x равно $0,6$ от длины волны λ . В качестве излучателя в решетках использовался гипотетический излучатель с шириной главного лепестка диаграммы направленности 60° . Используемое АР описывается косинусом в степени P на «подставке» D_a .

Особенность диаграммы направленности (ДН) при ступенчатом АР иллюстрирует рис.1 и рис.2 для случаев $M_x = 8, N_x = 4$. и $M_x = 5, N_x = 4$. Расчеты выполнены для $D_a = 0,3$ и $P = 1,5$.



Рисунок 1

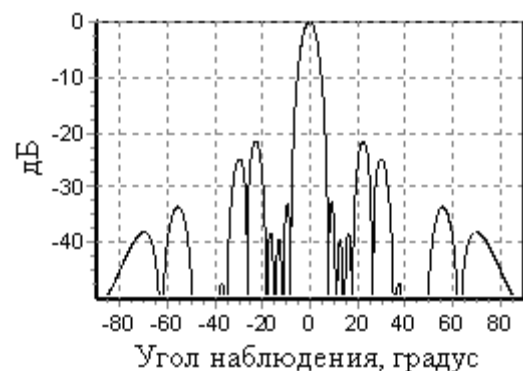


Рисунок 2

Как видно, в ДН решетки увеличились некоторые боковые лепестки. При непрерывном АР, как известно, боковые лепестки монотонно уменьшаются с увеличением угла наблюдения. Это иллюстрируется на рис.3 для решетки с параметрами $N_x = 8, N_y = 4, D_a = 0,3$ и $P = 1,5$.



Рисунок 3

Для пояснения наблюдаемых особенностей рассмотрим формирование множителя системы (МС) многомодульной решётки со ступенчатым АР. На рис.4 показан МС одного модуля с равномерным АР (рис.5), $N_x=8$ и $D_x=0,6\lambda$. На рис.6 изображён МС решетки из шести модулей с АР (рис.7) типа косинус в степени $P=1$ на «подставке» $D_a=0.3$. На рис.8 изображен МС многомодульной решётки с ступенчатым АР (рис.9), полученный перемножением двух предыдущих МС (рис.4 и рис.6). Очевидно, что ширина главного лепестка решётки определяется его шириной у множителя системы для решетки из модулей. Раздвоение увеличенных боковых лепестков объясняется тем, что минимумы множителя системы модуля совпадают с максимумами множителя системы для решетки из модулей. Количество боковых лепестков, расположенных между увеличенными удвоенными, совпадает с количеством боковых лепестков, расположенных между максимумами МС решётки из модулей (рис.6) и принимает значение $M \times 1-2$. Количество увеличенных удвоенных боковых лепестков многомодульной решётки N_b , равняется количеству главных лепестков МС решётки из модулей без учёта лепестка совпадающего с главным лепестком МС модуля: $N_b = 2 \times (D_x \times N_x / \lambda) - 1$.

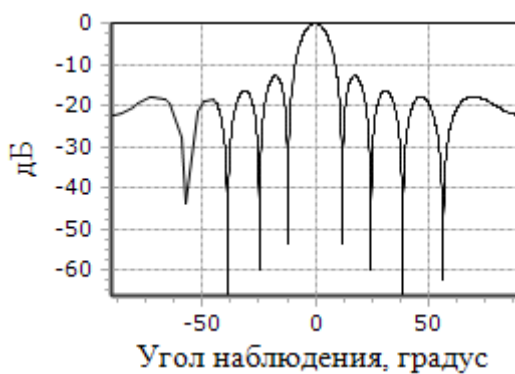


Рисунок 4



Рисунок 5

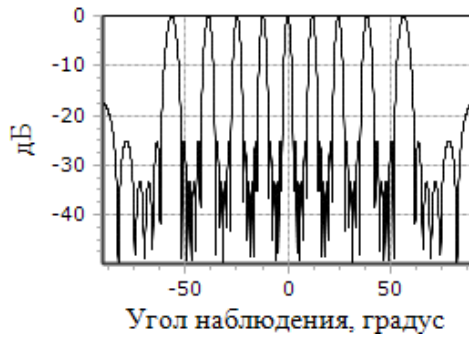


Рисунок 6



Рисунок 7

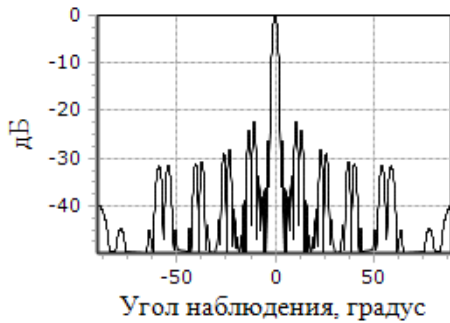


Рисунок 8

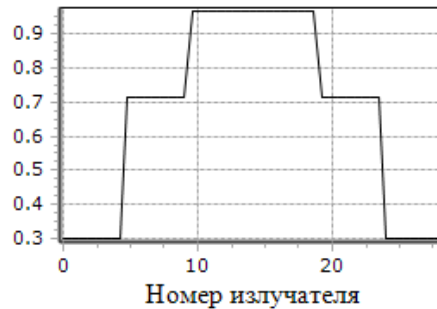


Рисунок 9

На рис.10 – 13 приведены результаты расчёта множителя системы для решёток с параметрами $N_x=6$ и $M_x1=6$, $N_x=4$ и $M_x1=9$, $N_x=3$ и $M_x1=12$, $N_x=2$ и $M_x1=18$.

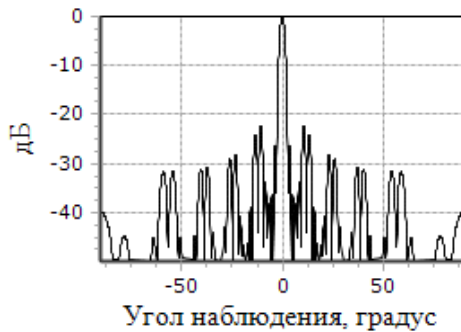


Рисунок 10



Рисунок 11

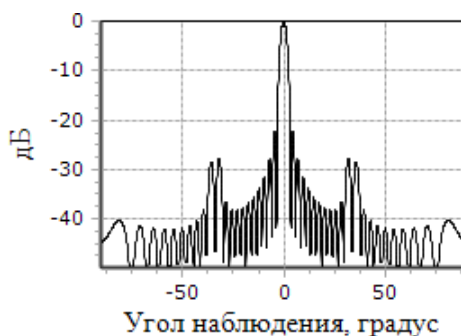


Рисунок 12

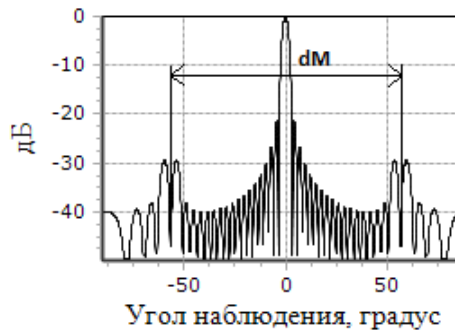


Рисунок 13

Чем больше излучателей в одном модуле при неизменном общем числе излучателей, тем увеличенные боковые лепестки расположены ближе к главному лепестку, тем больше вероятность того, что они превзойдут максимальный боковой лепесток при непрерывном АР. Расстояние между увеличенными боковыми лепестками, ближайшими к главному

обозначим dM (рис.13). Значение этой величины позволяет выбором излучателя имеющего ДН, минимумы которой совпадают с увеличенными лепестками МС, ослабить эти лепестки. При количестве модулей более трех с достаточной точностью dM можно определить по следующей формуле:

$$dM = 2 \times \arcsin\left(\frac{\lambda}{N_x \times D_x}\right), \quad (1)$$

Нетрудно убедиться в справедливости этой формулы, проанализировав приведенные выше рисунки 10–12.

Была также исследована возможность применения ступенчатого АР совместно с линейным фазовым распределением. Ограничение максимального отклонения луча Q_{m0} ДН не отличается от аналогичного значения при непрерывном АР и может быть найдено из условия единственности главного лепестка ДН [1]:

$$Q_{m0} = \arcsin\left(\frac{(N_x - 1) \times \lambda}{D_x \times N_x} - 1\right) \quad (2)$$

Рассмотрим МС решетки с $M_x=6$, $N_x=8$, $D_x=0.6 \lambda$, $\lambda=1\text{м}$, $D_a=0,3$ и $P=1$. В этом случае $Q_{m0}=27.3^\circ$. На рисунках 14 – 17 приведены МС для углов отклонения главного лепестка на 20° , 25° , 27.3° и 40° . Как видно, приведенные выше закономерности для МС при равномерном ФР справедливы и при линейном ФР.



Рисунок 14



Рисунок 15

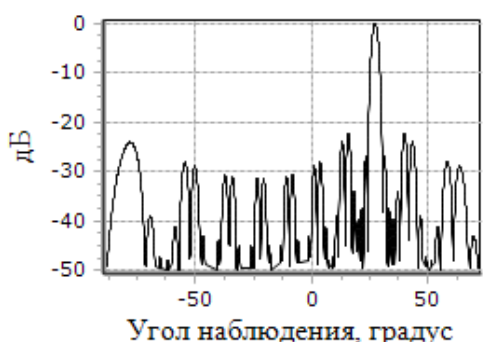


Рисунок 16

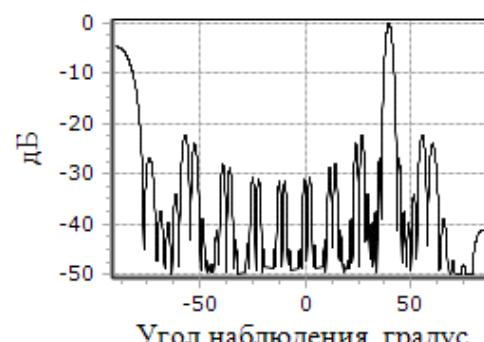


Рисунок 17

Описанные существенные особенности в распределении боковых лепестков решетки при ступенчатом АР необходимо учитывать при проектировании решеток, в частности, при определении числа излучателей в одном модуле при общем заданном числе излучателей в решетке, выборе излучателя решетки и определения необходимого расстояния между излучателями.

Библиографический список

1. Марков Г.Т. Антенны /Г.Т.Марков, Д.М.Сазонов // – Москва: Энергия. – 1975. С.524
2. Balanis Constantine A. Antenna theory analysis and design/Constantine A. Balanis// – John Wiley & Sons, Inc. – 1997. –P.959.
3. Mailloux Robert J. Phased Array Antenna Handbook/ Robert J. Mailloux// – Artech house. – 2005. P.515.