

# Модель исследования характеристик излучения многолучевых антенных решеток с учетом влияния интермодуляционных помех

Усков А.В., e-mail: sc79@mail.ru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

***Аннотация.** Получены аналитические соотношения для определения характеристик излучения многолучевых антенных решеток при одновременном формировании нескольких лучей на различных несущих частотах. Выявлены основные зависимости (закономерности).*

***Ключевые слова:** многолучевая антенная решетка, многочастотный режим, диаграмма направленности.*

## Введение

Расширение информационных возможностей средств и систем радиолокации, навигации, связи и радиоподавления в значительной степени достигается за счет увеличения числа каналов передачи (получения) информации. Реализация метода частотного разделения при нелинейности усилительных трактов передатчиков может сопровождаться проявлением перекрестных (интермодуляционных) помех существенным ухудшением электромагнитной совместимости РЭС. Целью статьи является определение характеристик излучения антенных решеток (АР) на интермодуляционных частотах при независимом формировании нескольких лучей на различных несущих частотах.

## 1. Модель исследования характеристик излучения многолучевых антенных решеток

Решение задачи проведем для случая формирования трех частотных каналов и от одного до трех пространственных каналов.

Известно [1], что при усилении трех гармонических сигналов с частотами  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  в тракте с выраженной нелинейностью амплитудной характеристики проявляются не менее шести перекрестных частот (ИМИ-31)  $2\omega_3 - \omega_1, 2\omega_2 - \omega_3, 2\omega_3 - \omega_2$  и три перекрестные частоты (ИМИ-32)  $\omega_1 + \omega_2 - \omega_3, \omega_1 - \omega_2 + \omega_3,$

$-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3$ . Таким образом, имеют место  $j = \overline{1,9}$  продуктов взаимной модуляции. Продукты пятого порядка вида  $3\omega_i - 2\omega_j$  и аналогичные (ИМИ-5) не учитываем, так как их уровень существенно меньше, чем уровень мощности продуктов ИМИ-3.

Задачу рассмотрим применительно к антенной решетке (АР), состоящей из  $n$  излучающих модулей в составе усилителя с нелинейной характеристикой и излучателя. Будем полагать, что для сигналов на частотах  $\omega_i, i = \overline{1,3}$  амплитуды  $u_i(n)$  входных сигналов модулей, задающих на раскрыве излучателя амплитудное распределение типа «косинус квадрат на пьедестале» [2], являются идентичными  $u_i(n) = u(n)$  и определяются выражением

$$u_i(n) = u(n) = u_{\text{вх}} A(n) \quad (1)$$

где  $A(n)$  - нормированное амплитудное распределение на раскрыве МЛАР;  $u_{\text{вх}}$  - амплитуда основных сигналов на входе модулей МЛАР при равномерном амплитудном распределении.

Фазовое распределение обеспечивает отклонение максимума главного лепестка для сигнала на частоте  $\omega_i$  на угол  $\alpha_i$  относительно нормали к АР, что соответствует требуемым фазам сигнала  $i$ -й частоты на входе  $n$ -го элемента АР (по отношению к первому)

$$\varphi_j(n) = \frac{\omega_i}{c} dn \sin \alpha_i \quad (2)$$

где  $d$  - межэлементное расстояние;  $c$  - скорость света.

В результате нелинейного преобразования в усилителях модулей МЛАР на раскрыве МЛАР для каждой  $j = \overline{1,9}$  интермодуляционной частоты третьего порядка будет сформировано некоторое амплитудное  $y_j(n)$  и фазовое  $\beta_j(n)$  распределение.

В общем случае амплитуды  $y_j(n)$  интермодуляционных продуктов определяются как

$$y_j(n) = f_j(\mathbf{a}, u_{\text{вх}}) \quad (3)$$

где  $\mathbf{a}$  - вектор параметров, определяющих передаточную характеристику  $E(u)$  мгновенных значений усилителя модуля МЛАР;

$$f_j(\mathbf{a}, u_{\text{вх}}) = \begin{cases} F_1(\mathbf{a}, 3/2u^2(n)), & j = 1, 6 \\ F_2(\mathbf{a}, 3/2u^2(n)), & j = 7, 9 \end{cases} \quad - \text{ функции, определяющие}$$

зависимости амплитуд интермодуляционных компонент от мощности суммарного сигнала на входе усилителя;  $F_{1(2)}(\mathbf{a}, P_{\Sigma n})$  - функции, определяющие зависимости амплитуд интермодуляционных продуктов ИМИ-31 (ИМИ-32) от средней мощности суммарного сигнала  $P_{\Sigma n} = 3 / 2 u^2(n)$  - на входе  $n$ -го модуля МЛАР.

Фазы  $\beta_j(n)$  интермодуляционных продуктов на выходе усилителя  $n$ -го канала АР будут представлять собой линейную комбинацию фаз основных частот и выразятся как

$$\beta_j(n) = \sum_{i=1}^3 b_{ij} \varphi_j(n) = \frac{dn}{c} \sum_{i=1}^3 b_{ij} \omega_i \sin \alpha_i \quad (4)$$

где  $b = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 2 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & 2 & 0 & 0 & 2 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 & 2 & -1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$  - матрица

коэффициентов, определяющих частоты и фазы нелинейных продуктов.

Как видно из (4), получающиеся для нелинейных продуктов фазовые распределения  $\beta_j(n)$  имеют регулярный характер. Угол  $\alpha_{kj}$  отклонения максимума диаграммы направленности на интермодуляционной частоте  $\omega_{kj} = \sum_{i=1}^3 b_{ij} \omega_i$  соответствует уравнению

$$\beta_j(n) = \frac{\omega_{kj}}{c} dn \sin \alpha_{kj}.$$

Приравняв правые части и выражая  $\alpha_{kj}$ , получим

$$\alpha_{kj} = \arcsin \frac{\sum_{i=1}^3 b_{ij} \omega_i \sin \alpha_i}{\sum_{i=1}^3 b_{ij} \omega_i} \quad (5)$$

Из (5) следует, что угол отклонения максимума диаграммы направленности (ДН) на каждой из интермодуляционных частот сложным образом зависит от основных частот и направлений максимумов соответствующих лучей и не зависит от геометрических параметров решетки (числа излучателей и межмодульного расстояния).

## **2. Результаты моделирования и основные закономерности**

Анализ полученных зависимостей позволил выявить некоторые закономерности:

при излучении всех сигналов в одном направлении, максимумы перекрестных частот третьего порядка расположены также в этом же направлении;

при симметричном положении максимумов главных лепестков ДН на двух основных частотах относительно нормали к решетке и произвольном положении максимума ДН на третьей частоте главный лепесток на частоте ИМИ-32 отклонен от нормали на ту же величину, что и главный лепесток на частоте, но в противоположном направлении;

при несимметричном положении максимумов главных лепестков ДН на двух основных частотах относительно нормали к решетке строгая симметрия нарушается, однако общая закономерность в расположении лучей на интермодуляционных частотах сохраняется.

### **Заключение**

Выявленные закономерности относительно расположения максимумов главных лепестков ДН на интермодуляционных частотах свидетельствуют о возможности уменьшения уровня перекрестных помех в системах связи с пространственным и частотным разнесением каналов на базе МЛАР в том числе за счет соответствующего выбора несущих частот.

Полученные результаты могут быть использованы при анализе эффективности функционирования систем связи с пространственно-частотным разделением каналов и оценке электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

### **Список литературы**

1. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]: учеб. пособие для студ. вузов - 5-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2006. - 717 с.
2. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. Учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975. – 528 с.