

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УМЕНЬШЕННЫЕ ВИБРАТОРНЫЕ АНТЕННЫ

*Овсяников В. В., д.т.н., проф.; Филинский Л. А., с.н.с.  
Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,  
г. Днепропетровск, Украина*

Уменьшение электрических размеров и, следовательно, габаритов и массы антенн, несомненно, является актуальной проблемой антенной теории и практики. Общепринятым критерием электрически малой антенны (ЭУВА) является выполнение неравенства  $ka \leq 1$ , где:  $k$  — волновое число,  $a$  — радиус условной сферы, охватывающей максимальный размер симметричной антенны или  $a$  — радиус соответствующей полусферы для случая несимметричной антенны. При уменьшении электрического размера антенны, например, до величины  $ka \leq 1$  зачастую сталкиваются, как с резким рассогласованием входа антенны с подводющим фидером, так и с уменьшением коэффициента полезного действия, то есть, эффективности антенны.

При структурно-параметрическом синтезе ЭУВА с включенными в излучающие ветви нагрузками для поиска начального приближения значений индуктивных нагрузок (ИН) и мест их включения в начале используем метод эквивалентной длинной линии [1]. Затем, анализ и оптимизацию ЭУВА выполняем методом интегрального уравнения относительно распределения комплексного тока на проводниках антенны с последующим определением всех параметров антенны [2]. Оптимизация режима резонанса в ЭУВА с использованием начального приближения значения индуктивности  $L_k$ , достигается минимизацией целевой функции с учетом критерия работоспособности [2] следующим образом:

$$\min \left\{ \left[ |X_{in}(L_k)| - X_{in}^{Tp} \right] / X_{in}^{Tp} \right\}^2, \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

$$L_k \in (L_1, L_K); L_{rez}^{HY} \in (L_1, L_K); U, f, d, r_a, h_L = \text{const},$$

где  $X_{in}(L_k)$  — реактивная составляющая входного сопротивления излучателя при включенном в него индуктивном элементе  $L_k$ ;  $U$  и  $f$  — напряжение и частота возбуждающего генератора.

Оптимальным решением задачи является значение индуктивности  $L^*$ , приводящее к минимальному значению критерия оптимальности (1).

Из результатов исследований ЭУВА следует обратить внимание на факт роста активной составляющей входного сопротивления ЭУВА за счет включения в нее чисто реактивной индуктивной нагрузки. Это сопровождается, увеличением эффективности излучения (приема) ЭУВА при неиз-

менном возбуждающем напряжении [1, 2]. Этот эффект является новым, малоизвестным и положительным свойством ЭУВА с ИН. Как следует также из результатов исследований, при уменьшении, например, вдвое ЭУВА с ИН относительно резонансных размеров, ее полоса пропускания сужается приблизительно с 10% до 1,5–2,0 % по уровню  $K_{СВН} \leq 2$ . То есть двойной выигрыш в массе и габаритах приводит, приблизительно к 5-ти кратному сужению рабочего частотного диапазона ЭУВА.

Отсюда ясно, что внутренние характеристики ЭУВА очень чувствительны к флуктуациям значений реактивных нагрузок, месту их включения и к другим конструктивным параметрам ЭУВА. Очевидно, что оценку чувствительности характеристик ЭУВА к случайностям в ее конструкции следует проводить статистическими методами [3].

Наиболее важным методом является оценка чувствительности значений  $K_{СВН}$  в зависимости от значений геометрических и электрических параметров излучающей системы – длины проводника излучателя и его радиуса ( $d / r_a$ ), включенных в нее сосредоточенных импедансов ( $Z$ ) и координат места их включения ( $h_z$  или  $h_L$ ), рабочей частоты ( $f$ ) возбуждающего источника, волнового сопротивления  $W$  антенны и других факторов.

Будем считать  $K_{СВН}$  случайной величиной с флуктуациями  $\Delta_i$  [2]. Систематические составляющие погрешностей можно заранее определить и устранить. Случайную оценку чувствительности  $K_{СВН}$  в зависимости от любого параметра ЭУВА можно выполнять следующим образом [3]:

1) Выбираем конкретную конструкцию ЭУВА. Все параметры ее заданы. Рабочая частота  $f$  также известна. Значения индуктивностей  $L$  и места их включения подобраны так, чтобы  $K_{СВН}$  был достаточно низким.

2) Задаем определенный допуск на интересующий нас параметр ЭУВА, например, на значение  $h_L$  — координату включения индуктивностей. Обозначим величину этого допуска через  $\frac{\Delta h_L}{h_L} = \varepsilon_{h_L}$ . При этом принимаем во

внимание что этот относительный допуск по  $h_L$  связан со среднеквадратичным отношением приближенным соотношением  $\sigma(h_L) = \varepsilon_{h_L} / 2,6$ . По заданным значениям относительных допусков, на величину  $h_L$ , рассчитываем значения  $K_{СВН}$ , соответствующие исходному состоянию антенны при значении  $h_L$ , которое соответствует наилучшему  $K_{СВН}$  для данной антенны. Далее, определяем искомое среднеквадратичное значение  $K_{СВН}$ .

3) Такую операцию повторяем для ряда значений допусков  $\frac{\Delta h_L}{h_L} = \varepsilon_{h_L}$ .

Следует отметить, что рассмотренное выше исследование случайностей  $K_{СВН}$  для ЭУВА в зависимости от флуктуации их геометрических и элек-

трических параметров представляет собой один из новых направлений статистической теории антенн, созданной и развитой Я. С. Шифриным [3] для крупных и сложных антенн, например, ФАР.

**Перечень источников**

1. Овсяников, В.В. Вибраторные антенны с реактивными нагрузками [Текст] / В.В. Овсяников. – М.: Радио и связь, 1985. – 120с.
2. Макаров, А. Л. Малогабаритные вибраторные антенны с реактивными нагрузками для космических аппаратов [Текст] / А. Л. Макаров, В. В. Овсяников, А. Л. Ольшевский, и др. // Антенны. М.: Радиотехника.– 2010. – в. 3(154), С. 46-53.
3. Шифрин, Я.С. Вопросы статистической теории антенн [Текст] / Я.С. Шифрин. – М.: Сов. Радио, 1970. – 384с. (Перевод на англ. язык: Shifrin Y. S. Statistical Antenna Theory. Golem Press, USA, 1971. – 370 p.)

**Анотація**

Представлені результати досліджень антени малої електричної довжини. Розглянуті можливості поліпшення характеристик подібних антен шляхом включення зосереджених реактивних елементів в конструкцію антени. Також розглянута статистична оцінка впливу на КСХН геометричних і електричних параметрів випромінюючої системи.

Ключові слова: антени малої електричної довжини, КСХН.

**Аннотация**

Представлены результаты исследований электрически малых антенн. Рассмотрены возможности улучшения характеристик подобных антенн путем включения сосредоточенных реактивных элементов в конструкцию антенны. Также рассмотрена статистическая оценка влияния на КСВН геометрических и электрических параметров излучающей системы.

Ключевые слова: электрически малые антенны, КСВН.

**Abstract**

Results of researches of the electrically small antennas are presented. Possibilities of improvement of characteristics of similar antennas by including of the concentrated reactive element in an aerial design are investigated. A statistical estimate of the impact on the VSWR of geometrical and electrical parameters of the radiating system is also considered.

Keywords: electrically small antennas, VSWR.