

УДК 621.396.67

Н.К. Бороздин, В.П. Дорогобид, О.О. Таган

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОДНОМАЧТОВОГО НЕСИММЕТРИЧНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Рассматривается влияние заземленной мачты на электрические параметры одномастового излучателя с верхней емкостной нагрузкой. Проводится анализ двух основных разработок одномастовых антенн, антенны с нижним питанием и антенны с верхним питанием. Приведены электрические схемы разных типов несимметрических излучателей. Описаны все нагрузки, которые есть в системах. Выражения для распределения тока и напряжения в таких системах и входного сопротивления получены путем использования уравнений Пистолькорса для электрически несимметричных линий. Решение системы уравнений относительно неизвестных токов и напряжений в начале каждой линии выполнено с учетом соответствующих граничных условий. Представленные соотношения дают широкие возможности проведения численных расчетов по определению степени влияния величин радиусов проводников, расстояний между ними, значений нагрузок, их видов и мест установки на основные параметры подобных излучателей.

Ключевые слова: антенна с нижним, верхним питанием, емкостная нагрузка, электродинамическая нагрузка, электродинамическое волновое сопротивление.

Постановка проблемы

По принципу действия и построения антенны можно разделить на проволочные (или линейные, выполняемые из тонких по сравнению с их длиной волны проводников) и антенны с излучающим раскрывом (дифракционные). Проволочные (или линейные) могут быть: симметричными и несимметричными, вибраторными, рамочными, спиральными, ромбическими, однопроводными, образовывать антенные решетки из перечисленных излучателей.

Обычно, когда существует ограничение на высоту мачты, применяют СВ-ДВ антенны с верхней емкостной нагрузкой. Наибольшее распространение, даже для мобильных станций, получили антенны с емкостной нагрузкой в виде горизонтального полотна. Известные конструкции таких антенн требуют наличия нескольких мачт [1, 2]. Однако в ряде случаев возникает потребность в излучателе на базе одной мачты. В публикациях по одномастовым антеннам отмечаются два основных направления их разработок: антенны с нижним питанием и антенны с верхним питанием [2]. Основным достоинством последних является применение неизолированных от земли металлических мачт.

По условиям эксплуатации наличие опорного изолятора в конструкции, который предполагается в антеннах нижнего питания, иногда нежелательно, а использовать принцип верхнего питания не всегда представляется возможным. Разработка одномастового несимметричного излучателя со снижением вдоль заземленной мачты нуждается в оценке степени влияния последней на электрические параметры антенны, а также в обоснованном выборе вида верхней емкостной нагрузки.

Основной материал

На рис. 1 и 2 приведены электрические схемы несимметричного излучателя, на которых заземленная мачта (провод 1 радиуса a_1) и снижение (провод 2 радиуса a_2) представлены в виде несимметричной линии длиной l с расстоянием d_1 между ее проводниками. Емкостная нагрузка для антенны рис. 1, а реализована проводником 4 радиуса a_4 и длиной, являющегося продолжением проводника 2, а на рис. 1, б - проводником 4, образующим Г-образную антенну, причем, в общем случае, высота мачты может быть увеличена за счет радиуса проводника 5. Емкостные нагрузки антенны рис. 2 выполнены из проводника 3 радиуса a_3 , размещенного параллельно мачте на расстоянии d_2 относительно провода снижения и образующего с ним двухпроводный шлейф длиной l .

Выражения для распределения тока и напряжения в таких системах и входного сопротивления могут быть получены путем использования уравнений Пистолькорса для электрически несимметричных линий [2]:

$$\begin{cases} U_i = \cos kZ + i \sin kZ \sum_{j=1}^n p_{ij} I_j; \\ I_i = I_j \cos kZ + i \sin kZ \frac{2U_j}{\omega_{ii}} - \sum_{j=1}^n \frac{U_j}{\omega_{ij}}, \end{cases} \quad (1)$$

где индексы $j = 1, 11, \dots$ относятся для значений в точке $z = 0$; k - волновое число свободного пространства; z - координата вдоль провода излучателя. Параметры P_{ij} имеют размерность сопротивлений. Их называют собственными и взаимными электродинамическими волновыми сопротивлениями проводов.

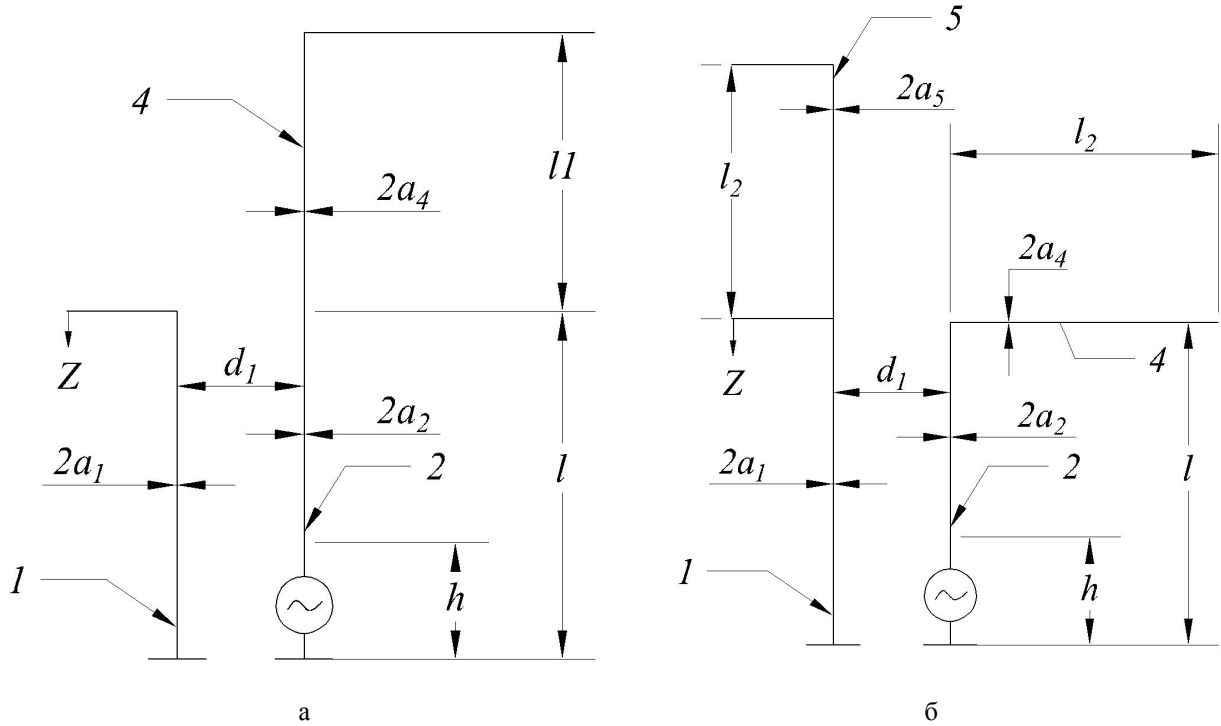


Рис. 1. Электрические схемы несимметричного излучателя:
а – с вертикальной емкостной нагрузкой на снижении;
б – Г-образный излучатель и заземленная мачта различной длины

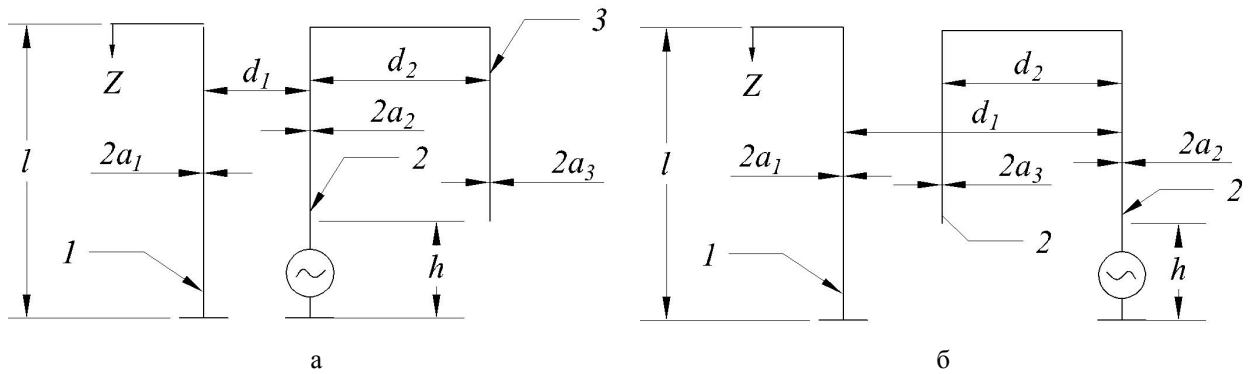


Рис. 2. Электрические схемы несимметричного излучателя
с емкостной нагрузкой, образующей со снижением двухпроводным шлейф:
а – питание на ближнем к мачте проводе;
б – на внешнем проводе излучателя

Эти параметры связаны с потенциальными коэффициентами P_{ij} проводников соотношением

$$\rho_{ij} = \frac{P_{ij}}{C}, \quad (2)$$

где C – скорость света в свободном пространстве.

Параметры W_{ij} , называемые волновыми электростатическими сопротивлениями, соответствующими выражениями связаны с электродинамическими волновыми сопротивлениями. Таким образом, указанные выше параметры находятся из решения соответствующей электростатической задачи по уравнениям

$$U_i = \sum_{j=1}^n P_{ii} Q_j; \quad (3)$$

$$Q_i = 2C_{ij} U_i - \sum_{j=1}^n C_{ji} U_j, \quad (4)$$

где C_{ij} – собственные и взаимные емкостные коэффициенты (погонные емкости) проводников; U_i , Q_i – потенциалы и заряды проводников соответственно.

Выражения (1) для каждой из рассмотренных схем (рис. 1, 2) могут быть приведены к удобному виду, что выполняется использованием очевидных граничных условий:

– схема рис. 1:

$$U_1 = -I_1 Z_m \quad \text{при } Z=0;$$

$$U_1 = 0, \quad I_2 = I_r \quad \text{при } Z=L; \quad (5)$$

– схема рис. 2:

$$I_1 = 0, \quad I_{III} = -I_{II}, \quad U_{II} = U_{III} \quad \text{при } Z=0$$

$$I_2 = I_r, \quad I_3 = 0, \quad U_1 = 0, \quad \text{при } Z=L \quad (6)$$

Здесь z_m – сопротивление проводника нагрузки на мачте, z_n – сопротивление проводника нагрузки на проводе излучателя, I_r – величина тока генератора, l – высота мачты излучателя.

Из системы уравнений (3, 4) получены конечные выражения для величин электростатических волновых сопротивлений:

– схема рис. 1:

$$\begin{aligned} \omega_{11} &= \frac{\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2}{\rho_{22}}; \\ \omega_{22} &= \frac{\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2}{\rho_{11}}; \\ \omega_{12} &= \frac{\rho_{11}\rho_{22} - \rho_{12}^2}{\rho_{12}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Аналогично для схемы рис. 2.

Решение системы уравнений (1) относительно неизвестных токов и напряжений в начале каждой линии выполняется с учетом соответствующих граничных условий (5) и (6). По результатам решения этой системы получены выражения для распределе-

ния суммарного (синфазного) тока по высоте антенны $I_\Sigma(z)$, входного сопротивления $X_{вх}$ напряжения в ней $U_{2вх}$, которые имеют следующий вид:

$$I_z = \frac{I_r}{F} - \left(A + i \frac{\rho_{12}B}{\rho_{11}N} \right), \quad (8)$$

$$\begin{aligned} U_{2вх} &= \\ &= \frac{I_r}{F} \left[Z_n \cos kL + \left(\frac{\rho_{12}^2}{\rho_{11}N} + i\rho_{22} \right) \sin kL \right], \end{aligned} \quad (9)$$

Не учитывая влияния излучения на распределение тока в антенне и допуская предположение об однородности параметров проводников на единицу длины, можно принять

$$Z_m = -P_m \operatorname{ctg} kl_1, \quad (10)$$

$$Z_n = -P_n \operatorname{ctg} kl_2, \quad (11)$$

где P_m, P_n – волновые сопротивления соответствующих нагрузок;

l_1, l_2 – длины проводников нагрузок на мачте и проводе антенны соответственно.

Величины P_m, P_n в (10) могут быть определены методом среднего потенциала для каждого конкретного случая их расположения относительно поверхности земли и других элементов схемы. Необходимые, при вычислении P_m и P_n , выражения потенциальных коэффициентов, при произвольной ориентации проводников, в достаточном объеме имеются, например, в работе [3].

Некоторые результаты анализа численных расчетов представлены на рис. 3.

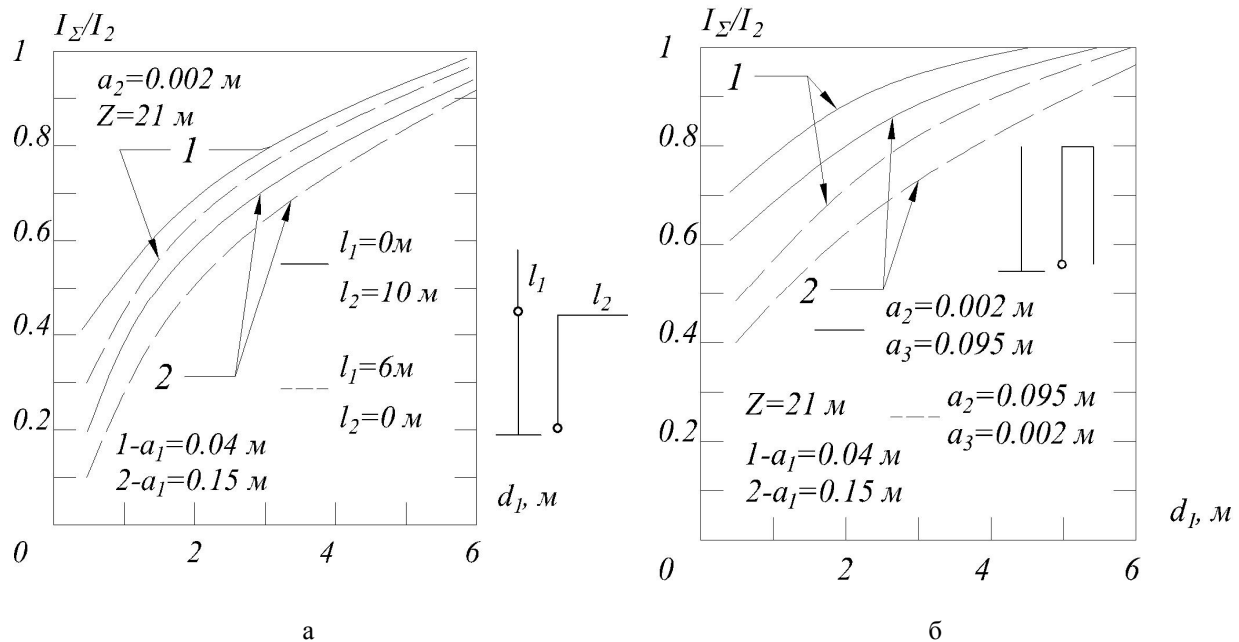


Рис. 3. Зависимость нормированного суммарного тока у основания излучателя от φ при различных сочетаниях параметров проводников:
а – Г-образного и увеличенной высоты мачты;
б – в виде двухпроводного шлейфа

Приведенные соотношения дают широкие возможности проведения численных расчетов по определению:

степени влияния величин радиусов проводников a_i ,
расстояний между ними d_i ,
значений нагрузок, их видов и мест установки на основные параметры подобных излучателей.

Выводы

Основные результаты анализа численных расчетов, часть из которых представлена на рис. 3 приводят к следующим выводам:

1. В любом случае увеличение расстояния между мачтой и вторым проводником (d_1) приводит к существенному росту суммарного тока и повышению входного сопротивления, а увеличение расстояния между вторым и третьим проводником (d_2) сопровождается снижением входного сопротивления. Суммарный ток от величины d_2 практически не зависит

2. Повышение радиуса мачты (d_1) отражается на снижении суммарного тока и незначительном уменьшении входного сопротивления. Значительное снижение входного сопротивления и некоторое снижение суммарного тока наблюдается при увеличении радиуса второго проводника (a_2).

3. Схема питания рис. 2, б по отношению к схеме питания рис. 2, а, при равенстве радиусов близких к мачте проводников и радиусов дальних

от мачты проводников, не изменяет значений суммарного тока и входного сопротивления.

4. Усложнение геометрии антенны сопровождается относительно быстрым снижением входного сопротивления и, при определенных соотношениях расстояний между мачтой и проводниками (d_1 и d_2), существенным ростом суммарного тока в излучателе.

Результаты теоретического анализа позволяют сформулировать рекомендации по построению мобильной одномачтовой антенны.

Список литературы

1. Марков Г.Т., Сазонов Д. М. Антенны. - М.: Энергия, 1975.
2. Белоусов С.П. и др. Антенны для радиосвязи и радиовещания. Часть 2. Средневолновые и длинноволновые антенны. - М.: Связь, 1960.
3. Муравьев Ю.К. Справочник по расчету проволочных антенн. (Пособие по курсовому и дипломному проектированию). - Л.: ВКАС, 1976.
4. Гавеля Н.П. Часть 1. Под ред. Ю.К. Муравьева. - Л.: ВКАС, 1963.

Надійшла до редколегії 26.10.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.М. Сільвестров, Національний технічний університет України імені Ігоря Сікорського «КПІ», Київ.

ЕЛЕКТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ОДНОМАЧТОВОГО НЕСИМЕТРИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАЧА

М.К. Бороздин, В.П. Дорогобид, О.О. Таган

Розглядається вплив заземленої щогли на електричні параметри однощоголового випромінювача з верхнім ємнісним навантаженням. Проводиться аналіз двох основних розробок однощоголових антен, антени з нижнім живленням і антени з верхнім живленням. Наведено електричні схеми різних типів несиметричних випромінювачів. Описано всі навантаження, які є в системах. Вирази для розподілу струму і напруги в таких системах і вхідного опору отримані шляхом використання рівнянь Пістолькорса для електрично несиметричних ліній. Розв'язок системи рівнянь щодо невідомих струмів і напруг на початку кожної лінії виконано з урахуванням відповідних граничних умов. Представлені співвідношення дають широкі можливості проведення чисельних розрахунків по визначенню ступеня впливу величин радіусів провідників, відстаней між ними, значень навантажень, їх видів і місць установки на основні параметри подібних випромінювачів.

Ключевые слова: антенна с нижним, верхним питанием, емкостная нагрузка, электродинамическая нагрузка, электродинамическое волновое сопротивление.

ELECTRICAL PARAMETERS OF SINGLE MAST UNSYMMETRICAL RADIATOR

N.K. Borozdin, V.P. Dorohobid, O.O. Tagan

The influence of the grounding of the mast on the electrical parameters of single mast radiator with upper capacitive load. An analysis of two main developments of single-mast antennas, antennas with a lower power supply and antennas with an upper power supply are analyzed. Electrical diagrams of different types of asymmetric radiators are given. Describe all the loads that are in the systems. Expressions for the distribution of current and voltage in such systems and the input resistance are obtained by using the Pistolcor's equations for electrically asymmetric lines. The solution of the system of equations for unknown currents and voltages at the beginning of each line is performed taking into account the corresponding boundary conditions. The presented relationships provide ample opportunities for numerical calculations to determine the degree of influence of the values of the radii of conductors, the distances between them, the values of loads, their types and locations of installation on the main parameters of such radiators.

Keywords: antenna with the lower, upper-powered, capacitive load, electrodynamic load Electromagnetic wave resistance.