

ПРОСТРАНСТВЕННО - ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ВИБРАТОРА

к.т.н. Г.В. Ермаков, к.т.н. С.С. Багров, В.Ф. Шеянов, С.В. Куровский
(представил д.т.н., проф. В.И. Замятин)

Приведено численное решение интегрального уравнения Поклингтона для вибратора. Рассмотрены вопросы возникновения искажений сверхширокополосных (СШП) сигналов при излучении, определены пиковые диаграммы направленности и временная форма излученного СШП сигнала.

За последнее время появилось большое количество публикаций, посвященных вопросам исследования и использования антенн, излучающих сверхширокополосные сигналы видеоимпульсного типа [1 - 3]. Использование СШП сигналов позволяет увеличивать информационную емкость канала за счет увеличения ширины полосы частот передаваемого сигнала, применение их в радиосвязи имеет очевидные преимущества.

В общем случае антенна, предназначенная для излучения СШП сигналов, должна наилучшим образом отвечать системным требованиям, к которым относятся: обеспечение хорошего согласования антенны со средой распространения; обеспечение требуемой формы диаграммы направленности (ДН); обеспечение технологичности изготовления; обеспечение минимально возможных габаритов, веса и т.д.

Несмотря на большое количество публикаций по применению СШП антенн, существует очень мало теоретических работ, касающихся расчета характеристик антенн, принимающих и излучающих СШП сигналы.

В данной работе на основании интегрального уравнения Поклингтона [4] предлагается метод расчета поля линейного вибратора (рис. 1).

Пусть антенна возбуждается импульсом тока вида

$$I(t) = A \exp(-t/\tau_u)^2, \quad (1)$$

где A – амплитуда импульса; t – время, отсчитываемое с момента возбуждения;

$\tau_u = 5$ нс – длительность импульса, определяемая по уровню 0,5; полоса

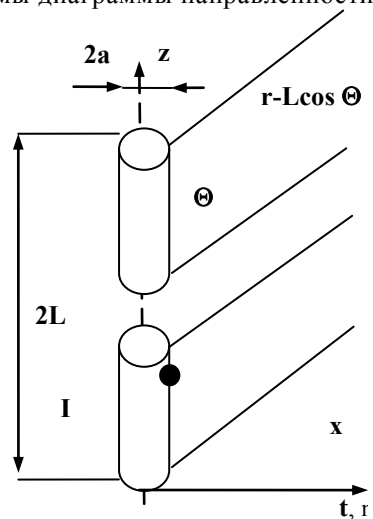


Рис. 1. Расчетная конструкция вибратора

частот составляет 10 - 500 МГц.

Предположим, что ток распределен по поверхности кругового цилиндра, ось которого совпадает с осью z . При радиусе цилиндра $a \ll \lambda$ можно считать, что ток распределен по поверхности цилиндра равномерно. Выражая магнитную составляющую поля через векторный потенциал \vec{A} :

$$\vec{H} = \text{rot} \vec{A} / \mu,$$

где μ – магнитная проницаемость, получаем [5]:

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \int_{-L}^L \left[\text{grad} \frac{\exp(-ikr)}{r} \right] \times \vec{J} dL, \quad (2)$$

где $\vec{J} = I\vec{z}^0$ – поверхностная плотность тока; \vec{z}^0 – орт в направлении оси z ; k – волновое число; r – расстояние до точки наблюдения.

Рассмотрим случай, когда поверхностная плотность тока зависит лишь от координат источника (x' , y' , z') и не зависит от координат точки наблюдения. Тогда

$$\text{grad} \frac{\exp(-ikr)}{r} = -\vec{r}^0 \frac{1+ikr}{r^2} \exp(-ikr),$$

где \vec{r}^0 – единичный вектор, направленный из точки источника в точку наблюдения.

Тогда для диполя (рис. 1) выражение для составляющих рассеянного электрического поля в прямоугольной системе координат имеет вид [5]:

$$\begin{cases} E_x(\omega) = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon}}{4\pi ik} \int_{-L}^L (x-a) F_2(r) (z-z') I(\omega) dL; \\ E_y(\omega) = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon}}{4\pi ik} \int_{-L}^L y F_2(r) (z-z') I(\omega) dL; \\ E_z(\omega) = \frac{\sqrt{\mu/\varepsilon}}{4\pi ik} \int_{-L}^L [F_1(r) I + (z-z')^2 F_2(r)] I(\omega) dL. \end{cases} \quad (3)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость;

$$F_1(r) = \frac{-1 - ikr + k^2 r^2}{r^3} \exp(-ikr); \quad F_2(r) = \frac{3 + 3ikr - k^2 r^2}{r^5} \exp(-ikr).$$

Для реализации численного алгоритма вибратор длиной 5 м разбивается на N ячеек. В пределах каждой ячейки, как было сказано выше, будем считать распределение тока I постоянным. Размеры ячеек выбираются $0,005\lambda$ (λ – длина волны соответствующей спектральной составляющей), т.е. для каждой спектральной составляющей (1) количество ячеек будет различным. Соотношение (3) является исходным расчетным соотношением.

Как известно [4], функция, характеризующая изменение во времени

напряженности электромагнитного поля, создаваемого антенной в дальней зоне при возбуждении ее СШП сигналом, зависит от пространственных координат. При этом от направления зависит не только амплитуда импульса, но также его форма и длительность.

Поэтому в литературе по СШП антеннам применяют различные определения характеристик направленности таких излучателей. Наиболее часто используют пиковые ДН [1, 2, 4], под которой понимается зависимость амплитуды или пиковой мощности принимаемого или излучаемого сигнала от пространственных координат. На рис. 2, 3 представлена пиковая диаграмма направленности вибратора в плоскостях Е и Н.

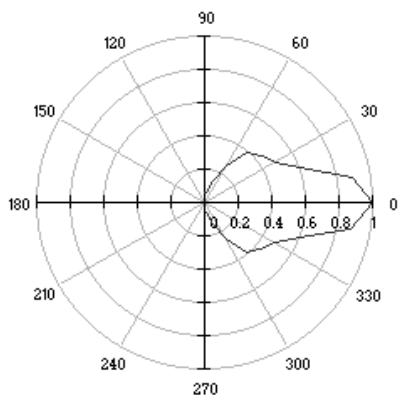


Рис. 2. Пиковая ДН в Е - плоскости

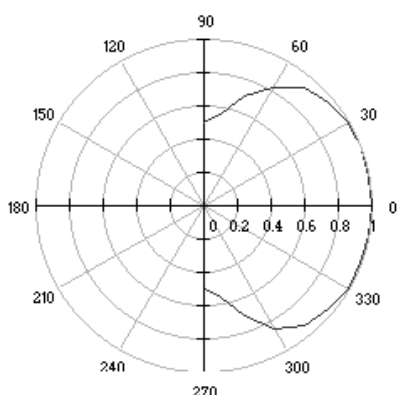


Рис. 3. Пиковая ДН в Н - плоскости

Рассчитанная ширина пиковой амплитудной ДН по уровню 0,5 в плоскости Е составляет порядка 60° , а в плоскости Н – 150° .

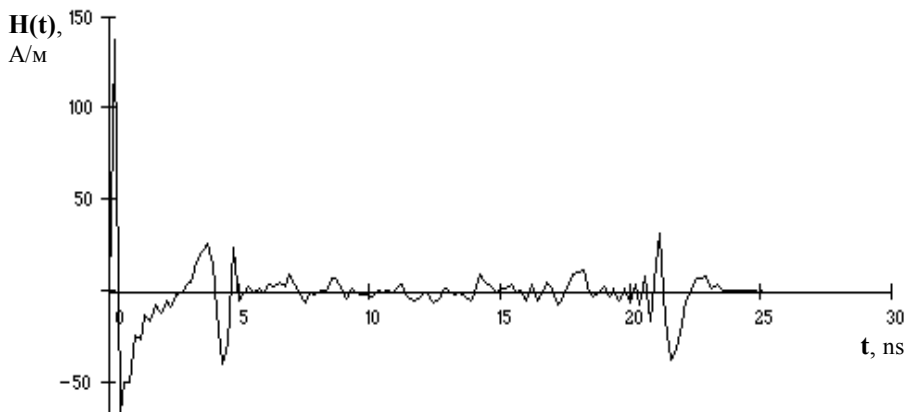


Рис. 4. Форма излученного СШП сигнала в осевом направлении

На рис. 4 представлена временная структура излученного поля (обратное преобразование Фурье), которая представляет собой последовательность

сигналов, представляющих собой производную от импульса тока, возбуждающего антенну. Временное запаздывание отдельных составляющих последовательности позволяет локализовать излучающие точки. Первый парциальный импульс представляет собой излучение из зазора точки питания вибратора, два последующих соответствуют излучению из верхней и нижней вершин вибратора в моменты отражения от них импульса тока.

Таким образом, излученное электромагнитное поле представляет собой последовательность парциальных импульсов, образовавшихся в процессе более интенсивного излучения на неоднородностях токоведущей линии (антенной системы). В промежутках времени между импульсами наблюдается поле, сформированное в результате излучения с линейного участка антенны. Период повторения импульсов соответствует удвоенному времени распространения возбуждающего сигнала от точки питания до конца антенны. Количество импульсов поля, образованных при возбуждении антенны одиночным импульсом тока, зависит от относительной доли энергии, излучаемой за один проход по антенне. Амплитуда каждого последующего импульса меньше амплитуды предыдущего. Процесс излучения продолжается до тех пор, пока вся энергия, пришедшая от генератора в антенну, не излучится. Поэтому, чем более интенсивно излучение, тем меньше искажения излучаемого сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Baum C.E., Farr E.G., Giri D.V. *The Review Of Radio Science 1996 - 1999.* – Oxford University Press. – 1999. – P. 403 - 439.
2. Borysenko A., Borysenko E., Ivashchuk V., Prohorenko V. // *Proc. Of 2000 Antenna Applications Symposium, IL.* – 2000. – P. 55 - 82.
3. Астанин Л.Ю., Костылев А.А. *Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений.* – М.: Радио и связь, 1989. – 192 с.
4. Хармут Х.Ф. *Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи: Пер. с англ.* – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с.
5. Митра Р. *Вычислительные методы в электродинамике.* – М.: Мир, 1977.

Поступила 29.03.2002

Ермаков Геннадий Валентинович, канд. техн. наук, доцент кафедры ХВУ. В 1984 году окончил МВТУ им. Баумана. Область научных интересов – электродинамика и антенные системы.

Багров Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, ст. научн. сотр. научного центра при ХВУ. В 1992 году окончил ВИРТА ПВО. Область научных интересов – электродинамика и антенные системы.

Шеянов Василий Федорович, адъюнкт ХВУ. В 1998 году окончил ХВУ. Область научных интересов – антенные системы.

Куровский Сергей Владимирович, адъюнкт ХВУ. В 2000 году окончил ХВУ. Область научных интересов – антенные системы.