

ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ФІЗИЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

УДК 537.87 : 621.396.96

МЕТОД КИРХГОФА–КОТЛЕРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРОТКОИМПУЛЬСНЫХ АНТЕНН

Г.В. Ермаков, В.В. Кондрат, Д.С. Калугин, П.А. Опенько
(Харьковский университет Воздушных сил)

Предложена методика расчета трехмерных конструкций излучателей сверхширокополосного сигналов, основанная на методе Кирхгофа – Котлера, определены частотные и временные свойства сверхширокополосного (СШП) сигнала.

излучатель сверхширокополосного сигнала, метод Кирхгофа – Котлера, короткоимпульсная антенна, пропускная способность

Введение. Современные тенденции развития радиотехнических систем (РТС) предусматривают увеличение пропускной способности последних, что вызвано качественно новым классом решаемых задач: получение некоординатной информации о радиолокационной цели, скрытность и помехозащищенность передаваемой информации, увеличение скорости передачи информации. Традиционные узкополосные системы (полоса сигнала много меньше несущей частоты) имеют ограниченные возможности при решении рассмотренных выше задач. Очевидно, что для увеличения информационных возможностей РТС необходимо увеличивать ширину спектра зондирующего сигнала, предельным случаем которого является сверхширокополосный (СШП) сигнал наносекундной длительности видеоимпульсного типа. Перспективному применению СШП сигналов в радиолокации, радионавигации, радиосвязи посвящено немало публикаций [1, 2].

Объективными причинами, сдерживающими использование СШП сигналов в радиолокации, является несовершенство антенных систем, приемных устройств и алгоритмов обработки [2, 3]. Для того, чтобы полностью использовать информационные свойства СШП сигналов (из-

лучение с малыми искажениями формы), необходимо разрабатывать новые, как правило, трехмерные конструкции антенных систем.

Кроме этого, определенные трудности возникают при расчете реальных конструкций короткоимпульсных антенн. Это связано, в первую очередь, с необходимостью решения электродинамических задач в широком частотном диапазоне. С возрастанием возможностей вычислительной техники повысилось значение численных методов при решении задач рассеяния, связанных с СШП сигналами. Среди существующих наибольшее распространение получили высокочастотные методы численного решения интегральных уравнений электродинамики при расчете двумерных конструкций. Реальные же конструкции имеют конечные размеры, кромки и изгибы, которые, являясь импедансными неоднородностями, могут существенно искажать излучаемый сигнал.

Поэтому **цель данной статьи** – предложить методику расчета трехмерных ограниченных конструкций излучателей СШП сигналов, основанную на методе Кирхгофа – Котлера, определить частотные и временные свойства излученного СШП сигнала.

Известно, что одним из перспективных излучателей сигналов видеоимпульсного типа является ТЕМ-рупор, представляющий собой две поверхности, расходящиеся в продольном и поперечном направлениях по определенным законам. На рис. 1 представлена конструкция со следующими профилями поверхности:

$$z = 0,5 \text{ м}; \quad y = 0,005 + 0,76z; \quad x = 0,0375 + 0,08z.$$

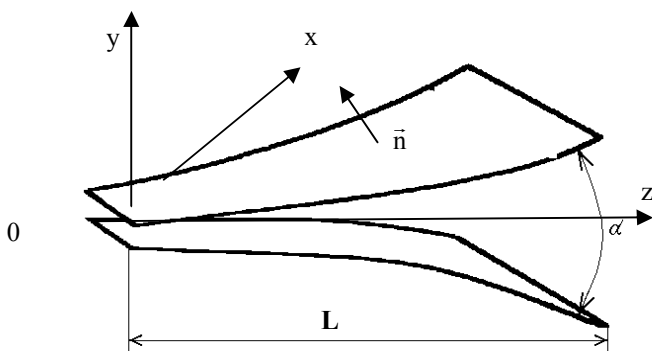


Рис. 1. ТЕМ-рупор

Угол при вершине составляет 43° . Такой выбор определяется согласованием антенны с линией передачи (входное сопротивление – 50 Ом)

и свободным пространствам (волновое сопротивление Z_B в сечении $z = L$ составляет 120π). Расчет волновых сопротивлений проводился по методике, соответствующей определению характеристик ленточной линии передачи [4]:

$$Z_B = 120 \pi \frac{a}{b} \left(\frac{a}{b} \ll 1 \right);$$

$$Z_B = 120 \ln \left(4 \frac{a}{b} \right) \left(\frac{a}{b} \gg 1 \right),$$

где a – расстояние между полосками; b – ширина полоски.

Напряженность магнитного поля \vec{H} можно определить с помощью поверхностного интеграла вида

$$\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \int_S \left\{ -j\omega\epsilon\psi \left[\vec{n}, \vec{E} \right] + \left[\vec{n}, \vec{H} \right], \text{grad}\psi \right\} + \left(\vec{n}, \vec{H} \right) \text{grad}\psi \, dS, \quad (1)$$

где ω – циклическая частота; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды распространения; $\psi = \frac{\exp(jkR)}{R}$; k – волновое число; R – расстояние

до точки наблюдения; \vec{n} – внешняя нормаль к поверхности S ; \vec{E} – напряженность электрического поля; S – поверхность интегрирования.

Для применения формулы (1) к задачам о расчете поля излучающих систем по заданному распределению поля на поверхности антенны необходимо так задать поля на участке поверхности S , чтобы разрыв на границе участка поверхности был бы связан с некоторым эквивалентным распределением токов и зарядов, удовлетворяющим уравнению непрерывности.

Если поверхность S имеет конечные размеры, то согласно методу Кирхгофа–Котлера нужно ввести линейные заряды по контуру, ограничивающему экран [5]:

$$\sigma = \frac{2}{i\omega} (\vec{\tau}, \vec{H}),$$

где σ – проводимость среды; $\vec{\tau}$ – касательная к поверхности S .

Учитывая, что $(\vec{\tau}, \vec{E}) = (\vec{n}, \vec{H}) = [\vec{n}, \vec{E}] = 0$, выражение (1) преобразуется к виду

$$\vec{H} = \frac{1}{2\pi} \int_S \left[[\vec{n}, \vec{H}_i], \text{grad}\psi \right] dS, \quad (2)$$

где $\vec{H}_i = H_0 \exp[j(kR - \omega t)] \vec{r}_0$ – поле источника; H_0 – амплитуда источника; \vec{r}_0 – радиус-вектор точки наблюдения.

Выражение (2) является основным расчетным для определения поля в дальней зоне. В случае использования СШП сигнала выражение (2) преобразуется к виду

$$\vec{H}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_S \left[\vec{n}, \vec{H}_i(\omega) \right] \text{grad}\psi \, dS. \quad (3)$$

Рассмотрим случай возбуждения ТЕМ-рупора гауссовым видеоимпульсом тока единичной амплитуды длительностью 1 нс. Амплитудно-частотный спектр (АЧС) и форма СШП сигнала представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

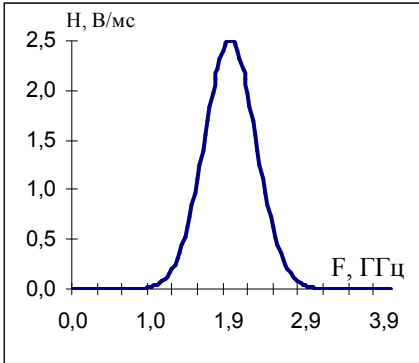


Рис. 2. АЧС спектр СШП сигнала

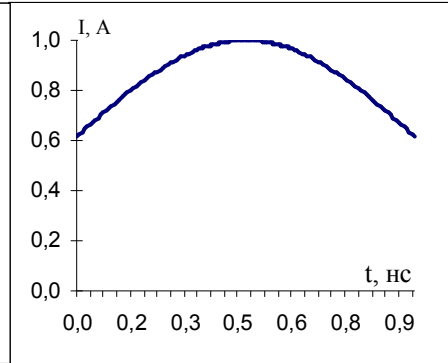


Рис. 3. Форма СШП сигнала

Из рис. 3 видно, что при длительности видеоимпульса тока 1 нс, спектр излучаемого сигнала составляет 4 ГГц, средняя частота — $f_0 = 2\text{ ГГц}$.

Для определения поля в дальней зоне в соответствии с (3), поверхность S разбивается на N непересекающихся ячеек. В пределах каждой ячейки, как это обычно делается в аналогичных случаях, считаем плотность тока постоянной. С учетом специфики поверхности продольные размеры ячеек составляют $0,1\lambda_{\min}$ (λ_{\min} — наименьшая длина волны, представленная в спектре сигнала). В силу малости размеров ячеек можно считать фронт волны у поверхности антенны плоским.

Расчитанная в соответствии с обратным преобразованием Фурье от выражения (3) временная структура излучаемого сигнала в направлении главного максимума представлена на рис. 4.

Необходимо отметить, что при изменении пространственных координат точки наблюдения, форма импульса не изменялась, уменьшалось лишь абсолютное значение отрицательного пика. Это можно объяснить согласованием ТЕМ-рупора с линией передачи и свободным пространством.

Выводы. Расчеты показали, что предложенный метод расчета антенных систем позволяет значительно уменьшить время определения временных характеристик расчета (по сравнению с использованием формул Стрэттона–Чу), а также позволяет учесть особенности поведения плотности поверхностного тока на краях поверхности.

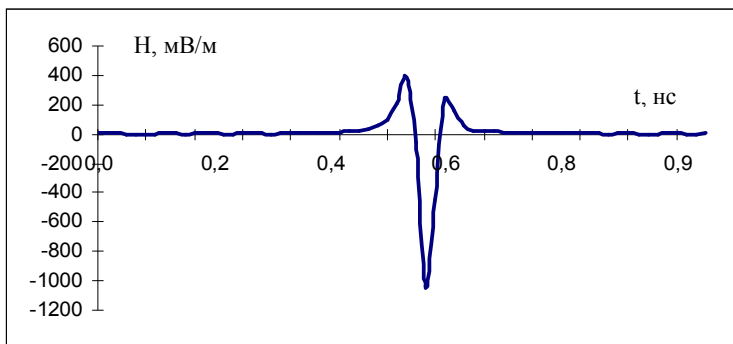


Рис. 4. Форма СШП сигнала в направлении главного максимума

Анализ временной структуры излученного сигнала показывает, что излучаемый сигнал обладает разрешающей способностью порядка 15 см; предложенная конструкция ТЕМ-рупора является хорошо согласованной конструкцией и может быть использована в качестве элемента СШП антенной решетки в локаторах подповерхностного зондирования и "поля боя".

ЛИТЕРАТУРА

1. *Borysenko A.A. Impulse Radar Emergency System To Prevent Damage Due To Harmful Objects In Vegetation // Proc. Of IEEE International Radar Conference. – 2000. – P. 116 – 121.*
2. *Радченко Ю.С., Сохнышев С.В. Обобщенная функция неопределенности составных сверхширокополосных сигналов // Радиоэлектроника. – 2001. – № 6. – С. 33– 43.*
3. *Astanin L.Y., Kostylev A.A. Ultra Wideband Signals – A New Step In Radar Development // IEEE AES System Magazine. – 1992. – March. – P. 12 – 15.*
4. *Фельдштейн А. Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. – М.: Сов. радио, 1967. – 651 с.*
5. *Семенов А.А. Теория электромагнитных волн. – М.: МГУ. – 320 с.*

Поступила 21.02.2005

Рецензент: доктор физико-математических наук, ст. научный сотрудник В.К. Иванов, Институт радиоп физики и электроники НАН Украины, Харьков.