

Ю. Я. ВОЛКОЛУПОВ, канд. физ.-мат. наук, М. А. КРАСНОГОЛОВЕЦ, д-р физ.-мат. наук,  
О. Г. ЛЕБЕДЕВ, М. А. ОСТРИЖНОЙ, В. И. ЧУМАКОВ, канд. физ.-мат. наук

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧАЮЩЕЙ АНТЕННЫ

В последнее время все большее внимание уделяется исследованиям несинусоидального электромагнитного излучения [1-3]. Такие излучения характеризуются широким частотным спектром, для оценки которого используется понятие коэффициента широкополосности [1]

$$\eta = \frac{f_e - f_n}{f_e + f_n} \quad (1)$$

где  $f_e$  и  $f_n$  – соответственно верхняя и нижняя частоты спектра излучения.

Для гармонических сигналов, используемых, например, в радиолокации, коэффициент широкополосности составляет  $\eta \leq 0,1$ . Несинусоидальные излучения характеризуются коэффициентом широкополосности  $\eta > 0,5$ . Для генерации таких излучений применяются различные способы, основанные на нестационарном излучении широкополосных излучающих структур. Излучают ускоренные заряды, поэтому для получения высокой эффективности в излучающей структуре необходимо обеспечить высокие значения  $\frac{di}{dt}$ .

Рассмотрим модель формирования поля излучения линейного диполя, пользуясь временным анализом.

Для диполя Герца длиной  $l$  вектор напряженности излученного электрического поля на расстоянии  $r$  от излучателя равен

$$\mathbf{E}_u = Z_0 \frac{l}{4\pi c r} \frac{1}{dt} \frac{\mathbf{r} \times (\mathbf{r} \times \mathbf{l})}{r^2}, \quad (2)$$

где  $Z_0 = 120\pi$  – волновое сопротивление свободного пространства;  $i$  – ток диполя;  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с;  $\mathbf{r}$  и  $\mathbf{l}$  – соответственно вектор диполя и вектор положения [1].

Излучение представляет собой преобразование тока в антенне с помощью полосового фильтра с граничными частотами  $f_e$  и  $f_n$ . Значение верхней граничной частоты определяется величиной потерь электромагнитной энергии в материале, из которого изготовлена антенна. С ростом частоты потери возрастают, что приводит к ограничению сверху частотного диапазона излучающих структур. Поэтому применение материалов с малыми потерями позволяет принципиально создавать антенны с высоким значением  $f_e$ .

Частота  $f_n$  определяется, в первую очередь, геометрическими размерами антенны. Снижение величины  $f_n$  связано с необходимостью увеличения размеров антенны, что наталкивается на естественные ограничения габаритов разрабатываемой системы. Вместе с тем, расширение диапазона  $f_e - f_n$  в область нижних частот более энергетически выгодно, поскольку энергетический спектр квазивидеоимпульсных сигналов возрастает с уменьшением частоты. Идеальная сверхширокополосная антенна имеет коэффициент передачи вида

$$K(\omega) = \begin{cases} K_0 & \omega > 0, \\ 0 & \omega = 0, \end{cases}$$

где  $K_0$  – постоянная величина.

Такая антенна обладает бесконечными размерами. Формирование частотной характеристики вида АЧХ полосового фильтра возможно с помощью двух низкочастотных фильтров (ФНЧ) с верхними граничными частотами соответственно  $f_e$  и  $f_n$  методом, описанным в [1]. Аналогичная модель может быть построена при использовании фильтров верхних частот (ФВЧ), на входы которых подается ток возбуждения антенны, а выходные сигналы вычитаются, в соответствии со структурной схемой (рис. 1).

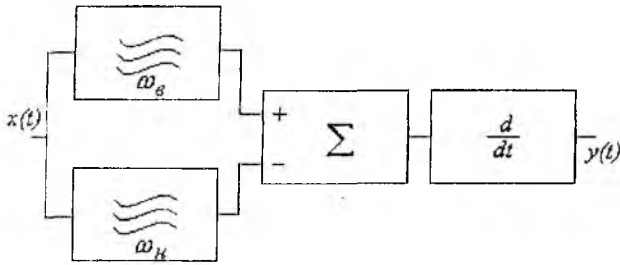


Рис. 1

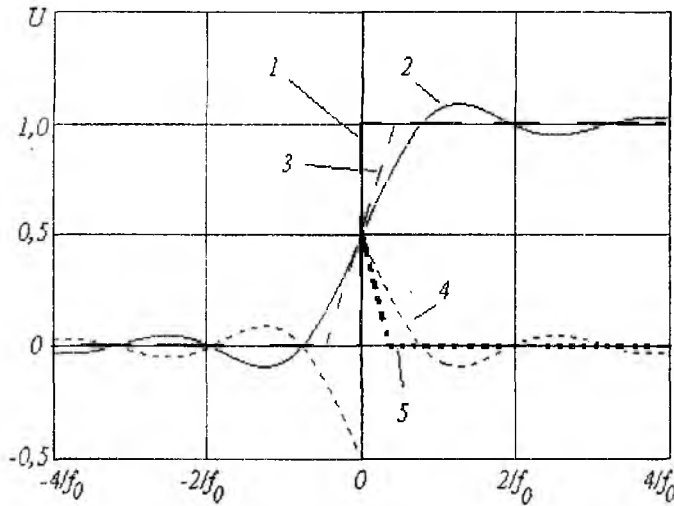


Рис. 2

Отметим, что операция дифференцирования на схеме рис.1 может предшествовать вычитанию, при этом конечный результат преобразования не изменяется. Формирование выходного тока и поля излучения полосовым фильтром иллюстрируется рис.3. Верхний график представляет линейную аппроксимацию откликов ФВЧ с частотами среза  $f_n$  (линия 1) и  $f_c$  (линия 2). Разность выходных сигналов ФВЧ представлена на втором графике. На нижнем графике приведена производная тока возбуждения, эквивалентная напряженности поля излучения. В данном случае выбрано соотношение частот  $f_c / f_n = 10$ , т.е. коэффициент широкополосности равен 0,82.

Расчитанные зависимости напряженности электрического поля совпадают с результатами [2] за исключением  $\delta$ -функций в моменты времени подачи тока соответственно на входы фильтров. Отметим, что в соответствии с фундаментальным условием излучения, равенство  $\int_{-\infty}^{\infty} E(t) dt = 0$  выполняется для рассматриваемого случая.

Согласно методу интеграла Дюамеля отклик  $y(t)$  линейной системы на воздействие функции Хевисайда позволяет найти отклик на произвольное воздействие  $x(t)$  по формуле

$$y(t) = \int_0^t x(\tau) h'(\tau - t) d\tau, \quad (3)$$

где  $h(t)$  – переходная характеристика системы, представляющая собой реакцию на воздействия единичной функции Хевисайда. Производная переходной характеристики представляет собой импульсную характеристику – реакцию системы на воздействие в виде  $\delta$ -функции. Формирование поля излучения на выходе полосового фильтра, составленного из двух ФВЧ показано на рис. 3.

Математическая модель, описывающая приведенную структурную схему, следует из равенства

$$y_{ФВЧ}(t) = \delta(t) - y_{ФНЧ}(t),$$

которое получается на основании обратного преобразования Фурье очевидного соотношения

$$K_{ФВЧ}(j\omega) = 1(j\omega) - K_{ФНЧ}(j\omega).$$

Здесь  $y(t)$  и  $K(j\omega)$  – соответственно импульсная характеристика и коэффициент передачи фильтра;  $\delta(t)$  и  $1(j\omega)$  –  $\delta$ -функция и единичная функция Хевисайда, также связанные преобразованием Фурье.

На рис.2 показано формирование функции  $U$  поля излучения при возбуждении диполя перепадом тока. Ток представлен функцией Хевисайда  $i(t) = 1(t)$  – кривая 1. Отклик ФВЧ (кривая 4) можно получить, вычитая из функции  $1(t)$  отклик низкочастотного фильтра (кривая 2). В упрощенном виде отклики низкочастотного фильтра и ФВЧ показаны соответственно прямыми 3 и 5. Напряженность поля излучения получается дифференцированием отклика ФВЧ.

Отметим, что появление короткого выброса во временной зависимости напряженности поля излучения позволяет объяснить экспериментальные зависимости сигналов, излучаемых линейной антенной, возбуждаемой короткоимпульсным сильноточным электронным пучком (электронно-пучковая антенна [4]).

Сужение полосы фильтра приводит к росту положительных выбросов во временной зависимости выходной функции. При этом сигнал значительно отличается от выходного сигнала на рис. 3. Таким образом, временной анализ позволяет оценить характер излучения несинусоидальных сигналов линейной антенной и интерпретировать результаты экспериментальных исследований нестационарных процессов в излучающих антеннах.

Импульсные характеристики антенны с коэффициентами широкополосности 0,82 и 0,33, аппроксимированной ФВЧ с колебательной частотной характеристикой, представлены на рис.4 (1 и 2 – отклики ФВЧ; 3 – результирующая временная зависимость).

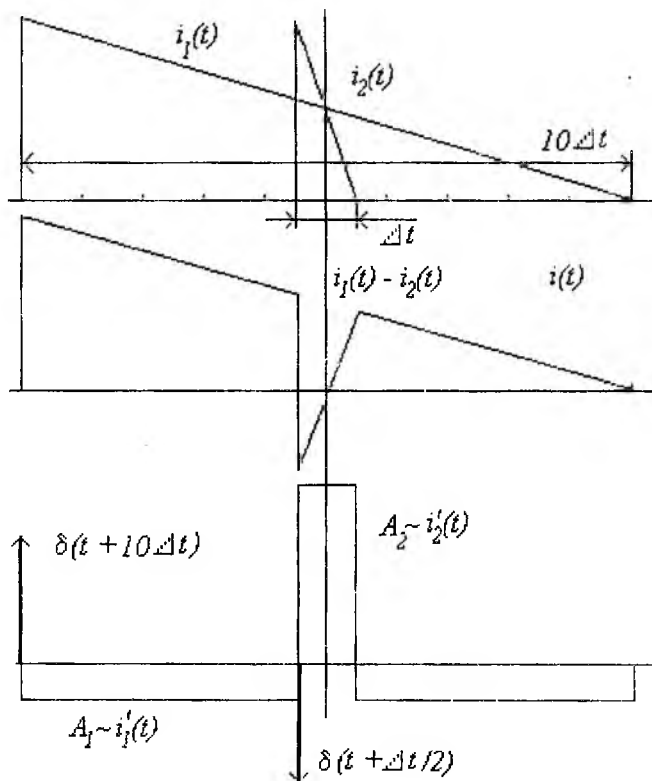


Рис. 3

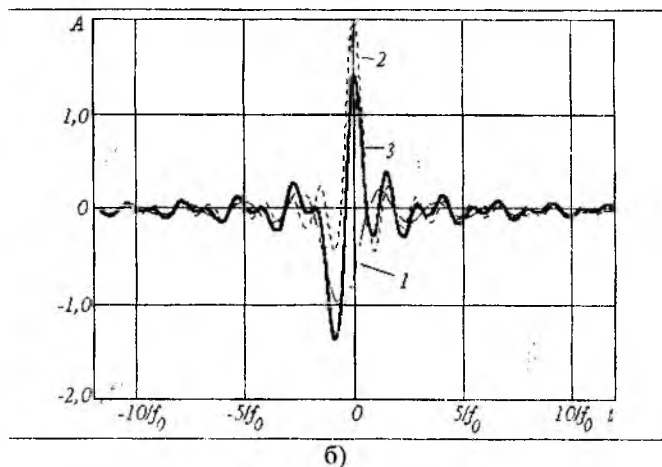
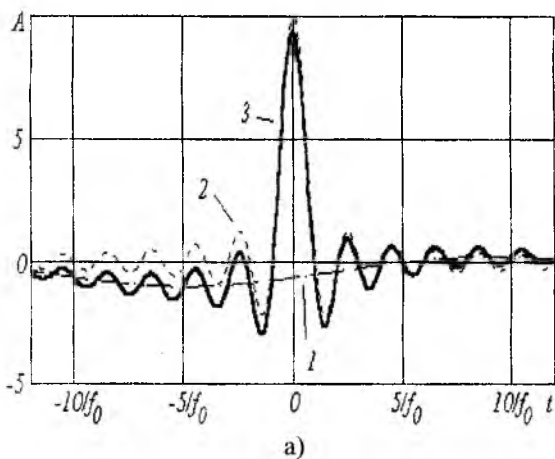


Рис. 4

**Список литературы:** 1. Хармут Х. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи: Пер с англ.—М.: Радио и связь, 1985. 376 с. 2. Borissenko A.A. Time-domain antenna studies for videopulse subsurface radar // Proceedings of IIIrd International Conference on Antenna Theory and Techniques, Sevastopol, Ukraine, 8-11 September 1999. P.376-378. 3. Самсонов А.В. Коэффициент направленного действия зеркальной антенны сверхширокополосных сигналов // Радиотехника. 1999. №1. С. 72-73. 4. Гапоненко Н.И., Курилко В.И., Латинский С.М., Лонин Ю.Ф., Харченко И.Ф. Возбуждение изолированной штыревой антенны сильноточным РЭП // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерно-физические исследования. 1997. Вып. 4,5 (31, 32), т.11. С.151-153.

Харьковский государственный технический университет радиозлектроники

Поступила в редколлегию 24.05.2001