

Д. т. н. В. И. СЕРГЕЕВ, к. т. н. А. А. ЧАПЛЫГИН

Россия, г. Воронеж, КБ антенно-фидерных устройств;
Концерн "Созвездие"
E-mail: vcb-ad@vcb-ad.vrn.ru

Дата поступления в редакцию
13.02 2006 г.

Оппонент к. т. н. В. И. КОРНЕЙЧУК
(ОНАС им. А. С. Попова, г. Одесса)

ФОРМИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО СИГНАЛА ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАТЕРИАЛЬНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Рассмотрен процесс формирования электромагнитных солитонов для воздействия на материальные объекты. Приведены аналитические выражения, описывающие такие солитоны.

При решении задач передачи информации актуальной и существенной проблемой является формирование нелинейного сигнала как носителя передаваемой информации. При этом под нелинейным сигналом понимается сигнал, описываемый каким-либо нелинейным уравнением.

Цель работы — описание практической реализации процесса формирования нелинейных сигналов как электромагнитных солитонов (а также инстантонов и бризеров).

Рассматривая известный способ формирования нелинейных сигналов [1], можно сделать вывод, что данный способ реализуется следующим образом: некоторый синусоидальный сигнал параметрически складывается со сложным сигналом (который включает в себя набор различных элементов сигнала различных форм и фактически является сигналом накачки для параметрического сумматора или смесителя), что обеспечивает получение результирующего сигнала, описываемого солитонным решением, например, нелинейного уравнения Шрёдингера (НУШ). То есть для получения нелинейного сигнала в виде солитона требуется наличие параметрического смесителя (сумматора или преобразователя), в который направлялись бы названные синусоидальный и сложный сигналы.

Следует уточнить, что солитоны как нелинейные сигналы могут быть после формирования направлены и в линейную среду: известно, что любая линейность (т. е. что-либо, описываемое линейными уравнениями) является частным случаем нелинейности (например, вырожденной нелинейностью или линейным участком нелинейной характеристики). Следовательно, предположение о линейности — есть (все-го лишь) указание на частный случай рассмотрения среды существования солитонов.

Также необходимо отметить, что, как известно, указание на существование солитонов в диспергирующей среде связано с тем, что в диспергирующей среде, как правило, волновые пакеты «рассыпаются» (вследствие дисперсии, т. е. вследствие того, что каждая из волн, составляющих волновой пакет, на-

чинает перемещаться в пространстве со своей скоростью), в отличие от солитона, который сохраняет свою форму при распространении в такой среде. Однако таким же образом солитон будет сохранять свою форму и при распространении в «линейной» или «нелинейной» среде без дисперсии, что представляется ясным при рассмотрении так называемых «диспергирующих» членов солитонных решений различных нелинейных уравнений. Данные утверждения достаточно известны [2, с. 114—143].

Кроме того, соответственно наличие диспергирующего члена в солитонных уравнениях (солитонных решениях соответствующих нелинейных уравнений) показывает, что солитоны имеют диспергирующую среду в месте своего существования. То есть фактически солитоны создают диспергирующую среду сами, в месте своего существования. Следовательно, солитоны существуют только в той среде, в которой они сформированы. Повторно отметим, что данные доводы построены на факте наличия диспергирующих членов в солитонных уравнениях.

В свете изложенного представляется очевидным, что оптический генератор (лазер), излучая когерентный электромагнитный сигнал, является оптимальным источником требуемого синусоидального сигнала. В качестве сложного сигнала при этом может быть использована дуговая (пробойная, газоразрядная) плазма, спектр которой содержит все необходимые гармоники для формирования солитонов практически любого типа и вида (т. е. достаточно легко обосновать наличие в комплексном спектре плазмы требуемых составляющих для обеспечения синтеза любого сигнала из необходимых для параметрического сложения с синусоидальным — в целях формирования солитонов). Кроме того, названная плазма по своим свойствам может выступать параметрическим преобразователем.

Помимо теоретического обоснования вышеизложенного, были проведены экспериментальные исследования, вполне подтвердившие справедливость проведенного анализа.

Экспериментальная установка представляла собой твердотельный (полупроводниковый) лазерный генератор МЛ-02 (с длиной волны 650 нм и мощностью излучения порядка 6 мВт) и дуговой (искровой) пробойник, собранный по стандартной схеме. Лазерный луч направлялся на плазменную дугу. При этом дуга изменяла цвет с голубого на желтый (с оранжевым и

красным оттенками), что показывает не только возникновение в плазме колебаний комбинационных частот, но и формирование электромагнитного солитона как результата требуемого параметрического сложения сигналов соответственно изложенному в [3, с. 319—320].

Инстантоны (как один из вариантов солитонных решений нелинейных уравнений) могут быть получены за счет взаимодействия солитонов с диэлектрической средой. В частности, в проведенных экспериментах была определена возможность синтеза инстантона вследствие взаимодействия описанного электромагнитного солитона и жидкостных объектов. При этом бризеры, также описываемые либо двухсолитонным решением нелинейных уравнений, либо суммой двух односолитонных (одноинстантонных) решений, формируются в названных жидкостных объектах при представлении таких объектов в виде резонансных систем.

Однако следует указать, что сумма двух односолитонных решений не есть обыкновенное арифметическое суммирование. Таковое возможно только при описании солитон-инстантонного бризера, в случае парности солитона и инстантона, при обязательном выполнении условия отсчетов координат и фиксированном времени. Указанное подтверждается общеизвестными положениями солитонной теории: бризер может быть сформирован либо в результате реализации двухсолитонного (солитон-инстантонного) решения какого-либо нелинейного уравнения (с учетом асимптотического «разбегания» составляющих бризера) [4, с. 147—150], либо в результате сложения асимптотически «сходящихся» («сбегающих») солитона и инстантона. Объединение двух солитонов (солитона и антисолитона, солитона и инстантона) в единое формирование по отсчетам координаты и времени (что, например, описано в той же книге [4, с. 156—159]), очевидно, является бризером.

В качестве примера можно привести описание солитон-инстантонного бризера. Аналитически формирование такого бризера обусловлено, например (рассматривается один из возможных вариантов) следующими рассуждениями (разработка и получение нижеприведенных аналитических выражений производились совместно с д. ф.-м. н. И. А. Володиным).

Рассматриваем кубическое нелинейное уравнение Шрёдингера (применяются общеупотребимые обозначения):

$$jr_t + r_{xx} + 2|r|^2r = 0.$$

Используем произвольный параметр рассеяния:

$$\lambda = \xi + j\eta,$$

где ξ — параметр амплитуды и ширины солитона;

η — параметр скорости солитона: $v = -4\eta$.

В этом случае односолитонное решение НУШ представляется следующим выражением:

$$r_s = \frac{2\eta \cdot \exp[-4j(\xi^2 - \eta^2)t - 2j\xi x - \varphi]}{\text{ch}^2(8\xi\eta t + 2\eta x + x_0)}.$$

Соответственно, одноинстантонное решение НУШ представляется следующим выражением:

$$r_i = 4\eta \cdot \exp[j(-8\xi\eta t - 2\xi x) - \varphi] \times \exp[4(\xi^2 - \eta^2)t - 2\eta x - x_0] / \{1 + \exp[-16j\xi\eta t \cdot \exp[-4\eta x - 2x_0]]\}.$$

Следовательно, преобразовав солитонное и инстантонное решения НУШ следующим образом —

$$r_s = 8\eta \cdot \exp[-4j(\xi^2 - \eta^2)t - 2j\xi x - \varphi] / \{2 + \exp[16\xi\eta t + 4\eta x + 2x_0] + \exp[-16\xi\eta t - 4\eta x - 2x_0]\};$$

$$r_i = \{4\eta \cdot \exp[(-8j\xi\eta t - 2\eta x - x_0) + (4(\xi^2 - \eta^2)t - 2j\xi x) - \varphi]\} / \{1 + \exp[-16j\xi\eta t - 4\eta x - 2x_0]\},$$

очевидно, получим бризерное решение НУШ в следующем виде (по соответствующим отсчетам времени и координаты, в условиях парности сформированных солитона и инстантона):

$$r_{si} = r_s + r_i = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{2 + B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5},$$

где

$$A_1 = 8\eta \cdot \exp[-4jt(\xi^2 - \eta^2) - 2j\xi x - \varphi];$$

$$A_2 = 8\eta \cdot \exp[-16j\xi\eta t - 4jt(\xi^2 - \eta^2) - 2x(2\eta + j\xi) - 2x_0 - \varphi];$$

$$A_3 = 8\eta \cdot \exp[-8j\xi\eta t + 4jt(\xi^2 - \eta^2) - 2x(\eta + j\xi) - x_0 - \varphi];$$

$$A_4 = 4\eta \cdot \exp[8\xi\eta t(2-j) + 4t(\xi^2 - \eta^2) + 2x(\eta - j\xi) + x_0 - \varphi];$$

$$A_5 = 4\eta \cdot \exp[-8\xi\eta t(2+j) + 4t(\xi^2 - \eta^2) - 2x(3\eta + j\xi) - 3x_0 - \varphi];$$

$$B_1 = \exp[16\xi\eta t + 4\eta x + 2x_0];$$

$$B_2 = \exp[-16\xi\eta t - 4\eta x - 2x_0];$$

$$B_3 = \exp[-16j\xi\eta t - 4\eta x - 2x_0];$$

$$B_4 = \exp[16\xi\eta t(1-j)];$$

$$B_5 = \exp[-16\xi\eta t(1+j) - 8\eta x - 4x_0].$$

Следует еще раз указать, что соединение в бризер солитона и инстантона по названному алгоритму возможно (как указывалось ранее) только для случая конкретных отсчетов времени и координаты, в условиях парности сформированных солитона и инстантона. То есть использование приведенного алгоритма для описания солитон-солитонного бризера — недопустимо. Однако приведенное аналитическое выражение солитон-инстантонного бризера вполне коррелирует с описанием солитон-инстантонного бризера, полученного по другим алгоритмам (выведенно-го иными путями).

В качестве вывода следует отметить, что полученные экспериментальные результаты показывают принципиальную возможность реализации указанного метода формирования нелинейных сигналов.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Пат. 2262797 RU. Способ формирования нелинейных сигналов / И. А. Володин, В. Г. Дмитриев, С. Б. Макаров и др. — 2005. — Бюл. № 29.

2. Маймистов А. И. Вполне интегрируемые модели в нелинейной оптике // Научно-технический вестник. Сер. Проблемы когерентной и нелинейной оптики. — 2002. — № 2. — С. 114—143.

3. Александров А. Ф., Рухадзе А. А. Лекции по электродинамике плазмподобных сред. — М.: Изд-во МГУ, 1999.

4. Лэм Дж. Л. Введение в теорию солитонов. — М.: Библиотечка, 1997.