

## ПОГЛОЩЕНИЕ ЛЧМ-ИМПУЛЬСА ОБЛАКОМ ДИПОЛЕЙ-РОТАТОРОВ

В.Н.Корниенко

ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН, г.Москва, ул.Моховая, 11  
[korn@cplire.ru](mailto:korn@cplire.ru)

*В докладе представлены результаты численного моделирования воздействия ЛЧМ импульса на ансамбль невзаимодействующих между собой классических диполей-ротаторов. Показано, что при определенных параметрах падающего импульса ансамбль частиц эффективно поглощает внешнее электромагнитное поле.*

В данной работе методами вычислительного эксперимента проведено исследование воздействия линейно частотно модулированного (ЛЧМ) сигнала на набор диполей-ротаторов.

Каждая частица набора представляет собой две сосредоточенные массы  $m$ , соединенные абсолютно жестким невесомым стержнем длиной  $l$ , на которых расположены электрические заряды  $q, -q$ , равные по величине и противоположные по знаку. В отличие от классического осциллятора, у такой частицы нет выделенной частоты: она зависит от кинетической энергии вращения. Это свойство позволяет сделать предположение о возможности создания на основе диполей-ротаторов среды, способной эффективно поглощать широкополосные сигналы.

Рассмотрим следующую задачу. Пусть существует набор невзаимодействующих между собой диполей-ротаторов, лежащих в одной плоскости. В начальный момент времени каждая частица набора покоится, и все они равномерно распределены по угловой координате  $\varphi$ . Таким образом, вначале суммарный дипольный момент системы равен нулю. Перпендикулярно плоскости расположения ротаторов падает линейно поляризованный ЛЧМ импульс, электрическое поле которого имеет вид:

$$E(t) = \begin{cases} E_0 \sin\left(\frac{\alpha}{2} t^2\right), & \frac{\alpha}{2} t^2 \leq 2\pi n \\ 0, & \frac{\alpha}{2} t^2 > 2\pi n \end{cases}$$

Так как в любой момент времени набор частиц оказывается в пространственно однородном внешнем электрическом поле (воздействующая волна имеет плоский фронт), движение центра масс диполей отсутствует. Если не учитывать действие магнитной составляющей падающего импульса, для  $i$ -го ротатора набора справедливо следующее уравнение движения:

$$\frac{d^2 \varphi_i}{dt^2} = \frac{2q}{ml} E(t) \sin \varphi_i \quad (1)$$

где  $\varphi_i$  - фаза вращения  $i$ -го ротатора.

Величину поглощения электромагнитного поля будем определять по значению суммарной кинетической энергии ансамбля.

Решение системы уравнений (1) аналитически может быть получено только в малосигнальном приближении [1], поэтому анализ движения частиц был проведен численными методами.

Используя нормированное время  $\tau = \omega t$  и введя обозначение  $A_0 = \frac{2q E_{0,x}}{ml \omega^2}$ , получаем следующие рекуррентные соотношения для фазы вращения и ее первой производной по времени  $\xi_i = \dot{\varphi}_i$   $i$ -го ротатора:

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi_i^{j+1} = \xi_i^j + A_0 \Delta t \sin \varphi_i^{j+1/2} \sin\left(\frac{\alpha}{2} (t^{j+1/2})^2\right), \quad \frac{\alpha}{2} (t^{j+1/2})^2 \leq 2\pi n \\ \xi_i^{j+1} = \xi_i^j, \quad \frac{\alpha}{2} (t^{j+1/2})^2 > 2\pi n \\ \varphi_i^{j+3/2} = \varphi_i^{j+1/2} + \Delta t \xi_i^{j+1} \end{array} \right. \quad (2)$$

Здесь верхний индекс соответствует значению дискретного времени.

Численное моделирование динамики рассматриваемой системы было проведено для ЛЧМ сигнала длительностью 22 о.е., спектр которого показан на рис.1.

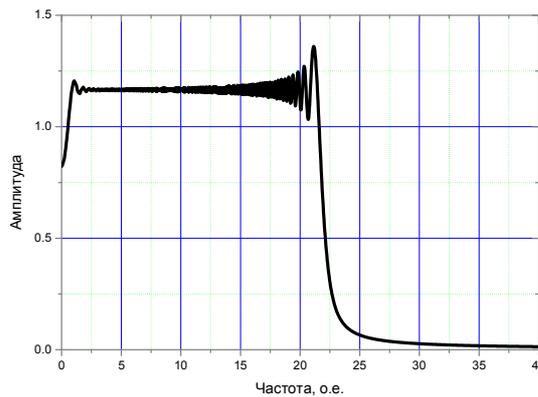


Рис.1. Спектр падающего импульса.

В проведенной серии вычислительных экспериментов изменялась только амплитуда импульса, форма же и длительность оставались постоянными.

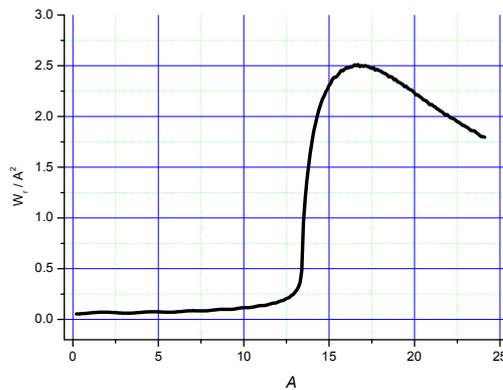


Рис.2. Зависимость суммарной кинетической энергии ансамбля диполей-ротаторов от амплитуды падающего импульса.

Зависимость величины суммарной кинетической энергии ротаторов, деленной на квадрат амплитуды падающего сигнала, от собственно амплитуды (рис.2.) содержит ярко выраженный максимум. Это означает, что для заданных параметров частиц (массы, заряда, дипольного момента), образующих ансамбль, существует оптимальное значение амплитуды ЛЧМ сигнала, при котором наблюдается эффективное поглощение электромагнитной энергии.

Этот эффект может быть объяснен наличием длительного временного синхронизма между воздействующим импульсом с линейно увеличивающейся частотой и ротаторами системы,

частота вращения которых также возрастает в процессе взаимодействия (рис.3). Следует отметить, что значение оптимальной амплитуды падающего сигнала зависит как от формы и длительности самого сигнала, так и от характеристик диполей-ротаторов, составляющих ансамбль.

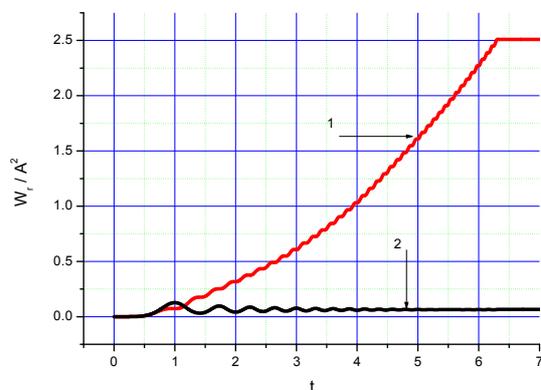


Рис.3. Зависимость суммарной кинетической энергии ансамбля диполей-ротаторов от времени для  $A=16.5$  о.е.(1) и  $A=1.0$  о.е.(2).

Таким образом, из полученных результатов следует, что при соблюдении условий синхронизма ансамбль диполей-ротаторов может эффективно поглощать энергию ЛЧМ сигнала. Описанный эффект, в частности, может быть использован для создания искусственных широкополосных поглотителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н.Корниенко, В.А.Черепенин. Сверхизлучение ансамбля классических ротаторов // "Радиотехника". 2000. № 1. С.24.