

КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

к. ф.-м. н. ¹Баркалин В.В., асп. ²Белогуров Е.А.

¹ Белорусский национальный технический университет НИЧ, Минск

² Белорусский национальный технический университет, Минск

Исследование нанорadiосистем является одним из приоритетных направлений развития применений нанотехнологий в системах связи [1,2]. Моделирование таких систем имеет по необходимости иерархическую природу вследствие невозможности использования полномасштабного квантовомеханического или молекулярно-динамического подходов к моделированию [3,4]. На практике приходится использовать континуальные модели с параметрами материалов, вычисленными на более глубоких уровнях иерархии, особенно конечноэлементные.

На сегодняшний день метод конечных элементов (МКЭ) нашёл широкое применение и популярность в инженерной науке [5]. Такая популярность обусловлена тем, что МКЭ является хорошо исследованным и апробированным в различных инженерных приложениях. Существует много пакетов программного обеспечения для решения самых разнообразных задач [6]. Для моделирования радиосистемы на основе углеродных нанотрубок (УНТ) использовался программный пакет COMSOL Multiphysics 3.5a [7].

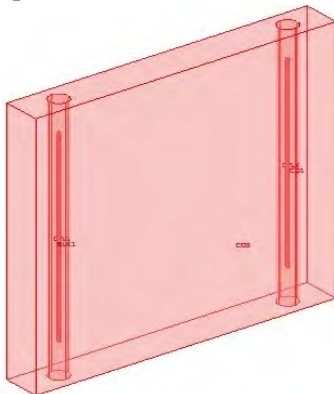


Рисунок 1 — Исследуемая радиосистема на основе двух нанотрубок

Моделируемая система состоит из двух углеродных нанотрубок, которые находятся в прямоугольном конечном объёме слабопроводящей среды с проводимостью 10^{-9} См/м (рисунок 1).

На внешних границах среды устанавливалось условие полной электроизоляции, т.е. равенство нулю нормальной компоненты плотности электрического тока ($\mathbf{n} \cdot \mathbf{J} = 0$). УНТ были заземлены, а на границах между трубками и средой и границами между областями внутренними областями среды было задано условие непрерывности. На правый круглый электрод на верхней границе объёма, занимаемого средой, подавалось постоянное напряжение, а на левый — переменное с частотой 100 МГц (соответствующий период 10^{-8} с). Электропроводность УНТ принималась равной $260 \cdot 10^6$ См/м.

УНТ имеют следующие параметры: длина - 600 нм, внешний диаметр - 10 нм, внутренний диаметр - 6 нм, плотность - 2460 кг/м^3 , модули упругости: $C_{11}=C_{22}=5,227 \cdot 10^{11}$ Па, $C_{13}=C_{23}=1,754 \cdot 10^{11}$ Па, $C_{12}=1,727 \cdot 10^{11}$ Па, $C_{33}=1,368 \cdot 10^{12}$ Па, $C_{44}=C_{55}=2,533 \cdot 10^{11}$ Па, $C_{66}=1,744 \cdot 10^{11}$ Па. Модули упругости были получены моделированием нанотрубок методом молекулярной динамики [3].

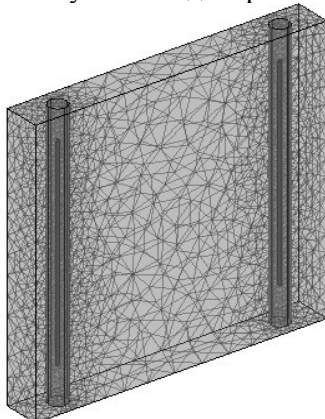


Рисунок 2 — Используемая сетка конечных элементов

На рисунке 2 показана используемая для расчётов сетка конечных элементов.

Для расчётов бралась неструктурированная тетраэдрическая сетка. Количество элементов составило 139000, минимальное качество элемента — 0,2, а максимальное — 0,8.

При появлении на круглых электродах потенциалов на трубках индуцируется поверхностная плотность заряда, на которую действует электрическое поле в системе. На рисунках 3 — 7 показано поведение правой трубки при различных значениях подаваемого на круговые электроды напряжения. Левая трубка в этих расчетах была закреплена.

Как видно из рисунков, при снижении напряжения на левом электроде с 1000 до 100 В наблюдается возникновение колебаний на гармониках с удвоенной частотой 200 МГц.

Из рисунка 7 видно, что если напряжение на правом электроде выше, то происходит затухание колебаний трубки, практически полное затухание происходит примерно через 50 периодов.

Кроме того, следует отметить появление биений вследствие сложения колебаний, отличающихся примерно на 10 МГц. Эти биения, по-видимому, можно объяснить разной полевой зависимостью частот собственных колебаний УНТ вдоль и поперек большой грани параллелепипеда среды.

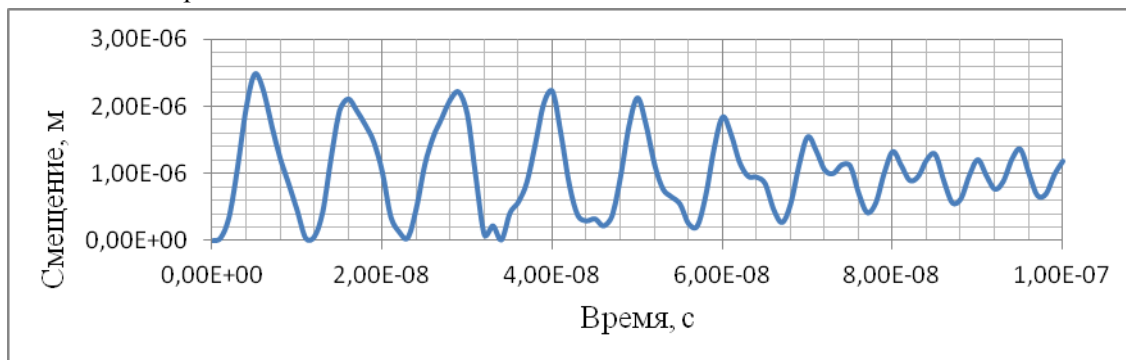


Рисунок 3— Полное смещение правой нанотрубки при значении потенциалов 1000 В и 0 В соответственно на левом и правом электродах

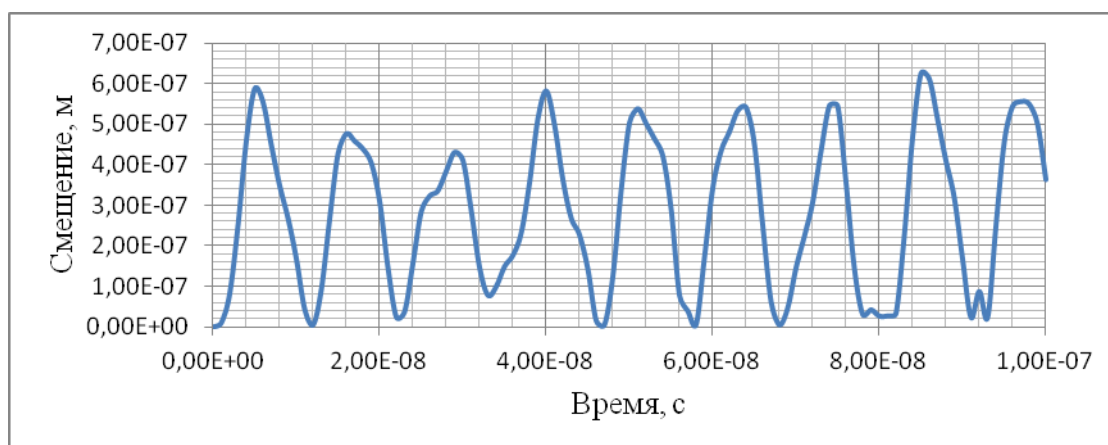


Рисунок 4— Полное смещение правой нанотрубки при значении потенциалов 500 В и 0 В соответственно на левом и правом электродах

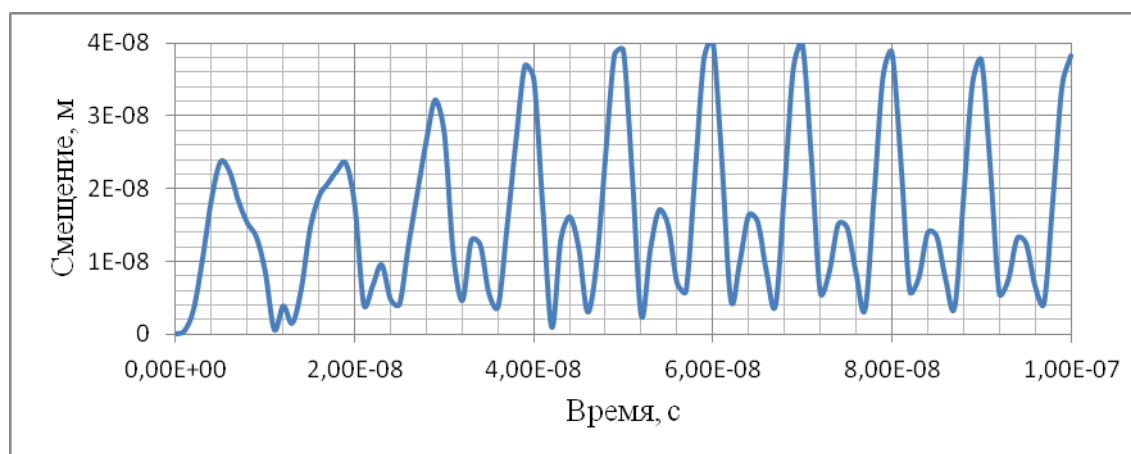


Рисунок 5— Полное смещение правой нанотрубки при значении потенциалов 100 В и 0 В соответственно на левом и правом электродах

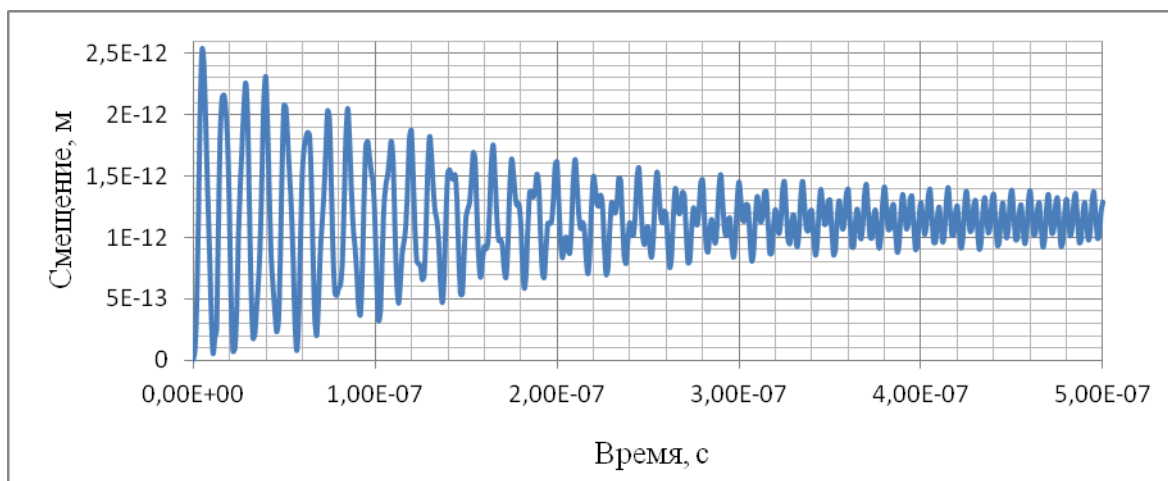


Рисунок 6— Полное смещение правой нанотрубки при значении потенциалов 1 В и 0 В соответственно на левом и правом электродах

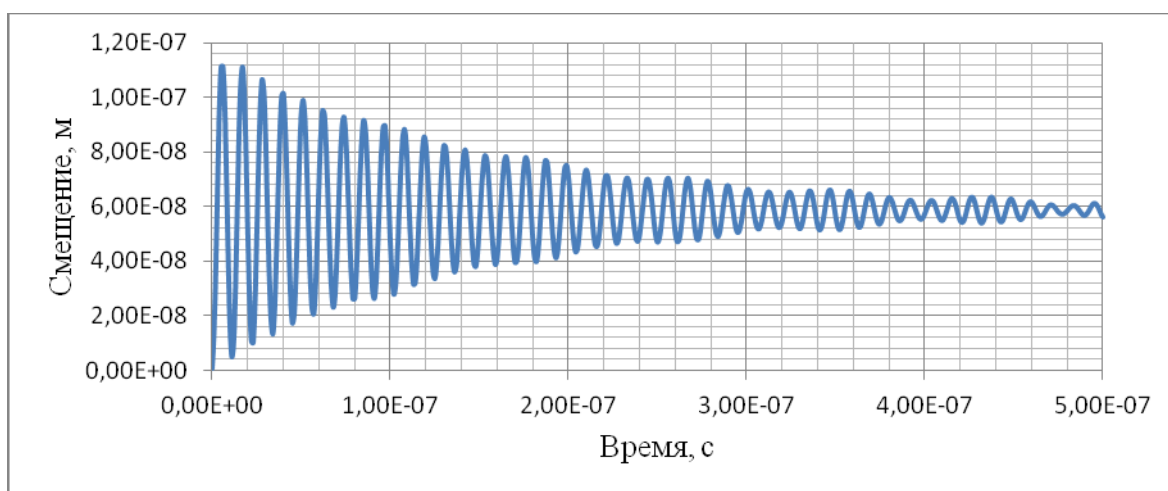


Рисунок 7— Полное смещение правой нанотрубки при значении потенциалов 1 В и 10 В соответственно на левом и правом электродах.

Появление второй гармоники в смещениях правой нанотрубки можно объяснить пондеромоторными силами, действующими на нанотрубку со стороны неоднородного электрического поля, которые квадратичны по полю.

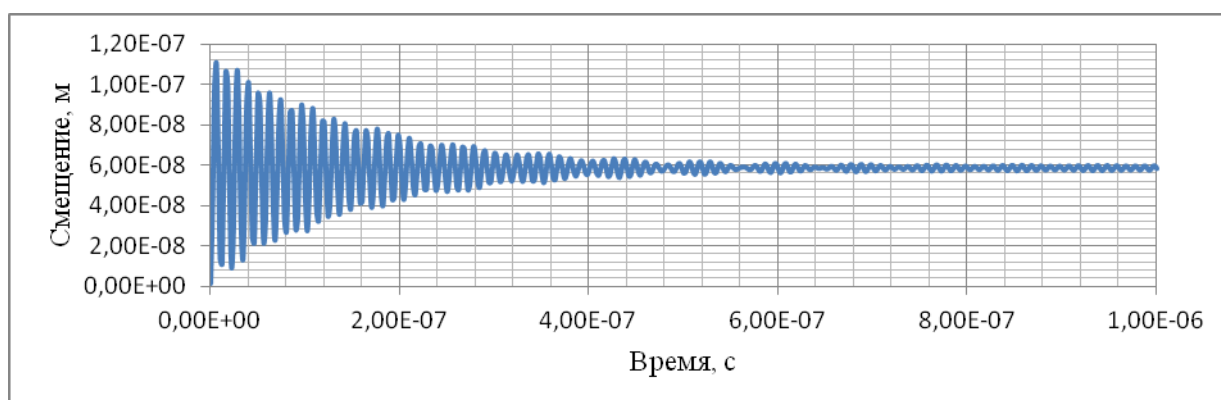


Рисунок 8 — Полное смещение правой нанотрубки при значении потенциалов 1 В и 10 В соответственно на левом и правом электродах. Левая трубка не закреплена

Далее рассматривался случай, когда левая трубка является свободной (рисунок 8). Качественно характер движения правой трубки при этом не меняется. Левая трубка испытывает при этом сходное колебательное движение на основной частоте. Уменьшение амплитуды смещений со временем можно объяснить экранировкой поля на нанотрубках вследствие хоть и малой, но конечной проводимости среды.

РЕЗЮМЕ

В статье рассмотрено конечноэлементное моделирование нанорадиосистемы на углеродных нанотрубках с опорной частотой 100 МГц. Наблюдается передача колебаний от одной трубки к другой при наличии внешнего постоянного поля на приемной трубке. При амплитуде переменного поля на передающей трубке менее 100 В на приемной трубке возбуждается и вторая гармоника колебаний на частоте 200 МГц.

ЛИТЕРАТУРА

- I. Abramov, V. V. Barkalin, E. A. Belogurov, V. A. Labunov, A. S. Chashynski. Simulation of resonant excitation of electromechanical vibrations in carbon nanotube radio receiver // 21th International Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology”. September 12-16, 2011, Sevastopol, Ukraine, pp. 803-805.
1. Barkaline V.V., Abramov I.I., Labunov V.A., Basaev A.S. CONTINUAL SIMULATION OF ELECTROMAGNETIC EXCITATION OF RESONANT VIBRATION OF CARBON NANOTUBE ARRAYS // 22th International Crimean Conference “Microwave & Telecommunication Technology” (CriMiCo’2012). 10—14 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine, p. 705-708.
2. V.Barkaline, I.Abramov, E.Belogurov, A.Chashynski, V.Labunov, A.Pletezhov, Y.Shukevich. Simulation of Carbon Nanotubes and Resonant Excitation of Their Mechanical Vibrations of by Electromagnetic Field for Nanoradio Applications // Nonlinear phenomena in complex systems, vol. 15, no. 1 (2012), pp. 23 – 42.
3. V.Barkaline, Y. Douhaya, A. Chashynski, A. Pletezhov, T. Szeplieniec. Hierarchical Approach to Nanodesign // Perspective technologies and methods in MEMS design, proceeding of the VI International Conference MEMSTECH’2010, 20-23 April, 2010, Polyana, Ukraine - Lviv: Publishing house Vezha&Co, 2010, p. 3-12.
4. О. Зенкевич «Метод конечных элементов в технике», Москва, Мир, 1975, 513 с.
5. Ж.К. Сабоннатьер, Ж.Л. Кулон. «Метод конечных элементов и САПР», Москва, Мир, 1992, 192 с.

SUMMARY

The paper consider finite element modeling of carbon nanotubes’ based nanoradiosystem with reference frequency 100 MHz. The transmission of vibration from one nanotube to another was observed with the assistance of external applied voltage. Second harmonicss appear on 200 MHz frequency for voltage on the left electrode less then 100 V.

Поступила в редакцию 16.10.2013