

УДК 004.942

Т.Т. Газизов

Комбинированный численный метод для оптимизации элементов радиоэлектронных устройств

Предлагается комбинированный численный метод, основанный на использовании генетических алгоритмов совместно с методом моментов, для решения задачи оптимизации элементов радиоэлектронных устройств. В методе используются три математические модели учета сосредоточенных нагрузок, включенных вдоль проводных структур. Приведены примеры использования метода.

Ключевые слова: математическое моделирование, численный метод, оптимизация, генетические алгоритмы, программный комплекс.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-3-242-244

Усложнение радиоэлектронных устройств (РЭУ) приводит к тому, что без длительного моделирования с оптимизацией характеристик разработать конечное устройство с заданными параметрами становится невозможным. Часто задача оптимизации является сложной задачей перебора и относится к классу трудных, когда полный перебор невозможен. В этом случае целесообразно использовать эволюционные методы, например генетические алгоритмы (ГА) [1]. В таких задачах для анализа исходной структуры используется метод моментов. Однако существуют различные особенности конкретных РЭУ, которые приводят к увеличению вычислительных затрат. Например, отличительной особенностью моделирования приемопередающих систем связи, основанных на проводных антеннах, является учет сосредоточенных нагрузок в их структуре. Существуют различные подходы к учету таких неоднородностей в структуре проводных антенн в процессе оптимизации [2]. Известен ряд работ, где показано успешное использование ГА в задачах оптимизации элементов РЭУ [3–6]. Однако публикации, в которых был бы обобщен опыт использования метода моментов совместно с ГА и возможностью учета сосредоточенных нагрузок, отсутствуют.

Цель данной работы – сформулировать новый комбинированный численный метод, основанный на объединении метода моментов, генетических алгоритмов и трех математических моделей учета сосредоточенных нагрузок.

В методе моментов исходным является исследуемое интегральное уравнение, описывающее поле анализируемой структуры. Искомая величина раскладывается по полной системе базисных ортогональных функций с последующим сведением задачи к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с N неизвестными. В электродинамической задаче неизвестными являются коэффициенты некоторого разложения тока в матричной форме. Сформулируем основные этапы предложенного метода на примере электродинамического анализа проводной структуры:

1. Определение типа элемента РЭУ. Создание целевой функции $f(x)$.

2. Решение задачи поиска распределения токов с помощью метода моментов:

– Получение из уравнений Максвелла интегральных уравнений структуры для электрического поля:

$$\mathbf{E} = -j\omega\mathbf{A} - \nabla\varphi,$$

$$\text{где } \mathbf{A} = \mu \iint_s J_s \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dS,$$

$$\varphi = \frac{1}{\varepsilon} \iint_s \sigma_s \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} dS,$$

где $\sigma_s = \frac{-1}{j\omega} \nabla_s \cdot J_s$; где \mathbf{E} – напряженность

электрического поля; \mathbf{A} – векторный потенциал; φ – скалярный потенциал; ω – частота; μ – магнитная проницаемость; J_s – плотность электрического тока; k – волновое число; R – расстояние от точки источника на оси до точки поля на поверхности проводника; S – анализируемая поверхность провода; ε – диэлектрическая проницаемость; σ_s – плотность заряда; ∇ – оператор Гамильтона.

– Сегментация: деление структуры на N сегментов.

– Использование метода моментов для сведения интегральных уравнений структуры (с учетом граничных условий на поверхности проводника) к СЛАУ $\mathbf{Z} \cdot \mathbf{I} = \mathbf{V}$.

– Вычисление элементов матрицы \mathbf{Z} СЛАУ размером $N \times N$.

– Формирование вектора воздействий \mathbf{V} размером N .

– Решение СЛАУ (определение вектора токов).

3. Применение математических моделей учета нагрузок (при наличии в рассматриваемой структуре):

– Выбор математической модели учета сосредоточенных нагрузок (модель Харрингтона, Боаг или Альтмана).

– Использование модифицированной матрицы \mathbf{Z} :

$$[\mathbf{Z}][\mathbf{I}] = ([\mathbf{Z}^0] + [\mathbf{Z}^L])[\mathbf{I}] = [\mathbf{V}],$$

где $[\mathbf{Z}]$ – обобщенная матрица (размером $N \times N$) импедансов нагруженной антенны; N – число неизвестных; $[\mathbf{I}]$ – вектор (размером N), представляющий неизвестные коэффициенты разложения тока, и

$[V]$ – вектор воздействий (размером N); $[Z^0]$ – матрица импедансов ненагруженной антенны; $[Z^1]$ – диагональная матрица учета нагрузок.

4. Вычисление целевой функции $f(x)$.

5. Использование ГА для повторения пунктов 2–4 до достижения условия останова.

Таким образом, предложенный комбинированный численный метод можно представить в виде блок-схемы (рис. 1).

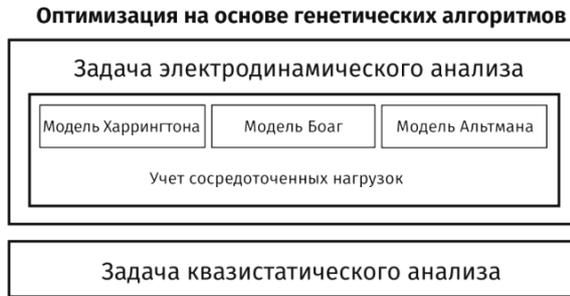


Рис. 1. Блок-схема комбинированного численного метода, основанного на объединении метода моментов, ГА и трех математических моделей учета сосредоточенных нагрузок

Важной частью предложенного метода является оптимизация, основанная на ГА. Алгоритм работы ГА представлен на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм работы ГА

ГА определяет, какие решения или «индивидуумы» должны выжить, какие – участвовать в

скрещивании, а какие – умереть. Также ГА определяет, как долго будет длиться процесс поиска решения или «эволюции». Обычно ГА не имеет четкого условия останова. Необходимо задать критерий завершения работы. Часто таким критерием является количество поколений или вырождение популяции (когда нет разнообразия в полученных решениях или «генах особей популяции») либо заданное время работы.

Особую роль в работе ГА занимают операторы отбора, скрещивания и мутации. Пример кодирования особи при работе простейшего ГА представлен в виде схемы на рис. 3.

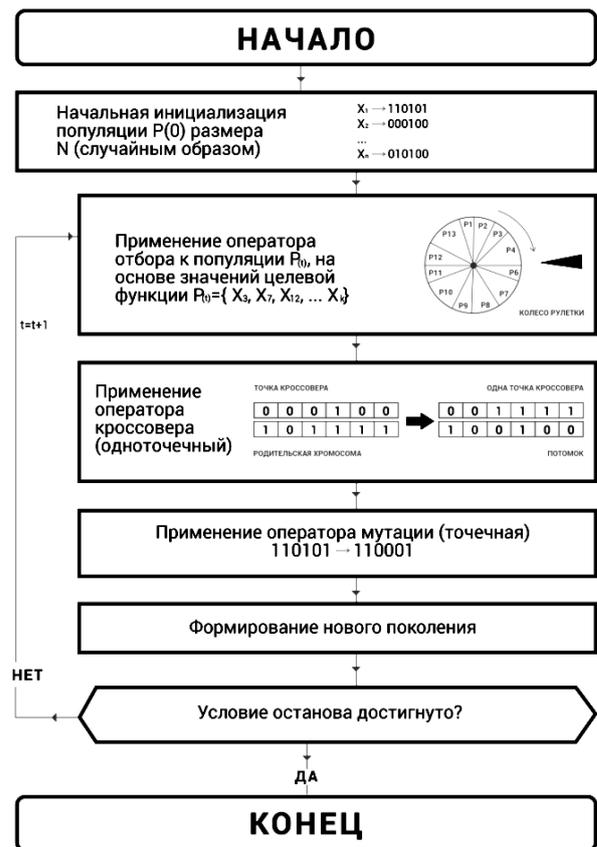


Рис. 3. Кодирование особи при работе ГА

Предложенный метод был использован в программном комплексе для моделирования задач электромагнитной совместимости TALGAT. После получения удовлетворительных результатов работы на примере тестовых функций и подтверждения корректности программной реализации ГА в системе TALGAT на основе предложенного метода были исследованы реальные задачи оптимизации элементов РЭУ:

1. Оптимизация параметров двухпроводной линии передачи [7].

2. Поиск максимального пикового значения сверхкороткого импульса в шине печатной платы радиопередающего устройства системы автономной навигации космического аппарата [8].

3. Оптимизация трехпроводного модального фильтра [9].

4. Оптимизация параметров воздушной меандровой линии [10].

5. Снижение коэффициента стоячей волны проводной V-inverted антенны [11].

6. Комплексная оптимизация приемопередающих антенных систем на основе ГА с проведением эксперимента [2].

Таким образом, в данной работе предложен новый комбинированный численный метод для оптимизации элементов РЭУ и его реализация в программном комплексе для моделирования элементов РЭУ с возможностью их оптимизации на основе ГА. Выполнена оптимизация различных элементов РЭУ.

Литература

1. Goudos K. Evolutionary algorithms applied to antennas and propagation: A review of state of the art / K. Goudos, C. Kalialakis, R. Mittra // *Int. J. of Antennas and Propagation*. – 2016. – Vol. 2016. – P. 1–12.

2. Газизов Т.Т. Синтез оптимальных проводных антенн. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 120 с.

3. Altman Z. New designs of ultra wide-band communication antennas using a genetic algorithm / Z. Altman, R. Mittra, A. Boag // *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. – 1997. – Vol. 45. – P. 1494–1501.

4. Boag A. Design of electrically loaded wire antennas using genetic algorithms / A. Boag, E. Michelssen, R. Mittra // *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. – 1996. – Vol. 44. – P. 687–695.

5. Johnson J.M. Genetic algorithms in engineering electromagnetic / J.M. Johnson, Y. Rahmat-Samii // *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. – 1997. – Vol. 39, № 4. – P. 7–21.

6. Genetic Algorithms in Electromagnetics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://goo.gl/91czTt>, свободный (дата обращения: 05.09.2017).

7. Носов А.В. Параметрическая оптимизация защитного витка меандровой линии с лицевой связью / А.В. Носов, Р.С. Суровцев, Т.Т. Газизов // *Инфокоммуникационные технологии*. – 2017. – № 3. – С. 21–23.

8. Газизов Р.Р. Исследование локализации пиковых значений сигнала в печатной плате системы автономной

навигации / Р.Р. Газизов, Т.Т. Газизов // *Инфокоммуникационные технологии*. – 2017. – № 2. – С. 10–12.

9. Belousov A.O. Optimization of parameters of multi-conductor modal filters for protection against ultrashort pulses / A.O. Belousov, A.M. Zabolotsky, T.T. Gazizov // *17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (Erlagol, Altai. 30 June – 4 July)*. – Erlagol, 2016. – P. 67–70.

10. Газизов Р.Р. Исследование максимума напряжения сверхкороткого импульса в микрополосковой меандровой линии при изменении ее геометрических параметров / Р.Р. Газизов, А.М. Заболоцкий, Т.Т. Газизов // *Технологии ЭМС*. – 2016. – № 3 (58). – С. 11–17.

11. Демаков А.В. Оценка влияния оттяжек мачтового устройства на характеристики V-вибратора / А.В. Демаков, О.С. Каймонов, Т.Т. Газизов // *III Всерос. науч.-техн. конф. «Системы связи и радионавигации»*, 22–23 сентября 2016 г. – Красноярск, 2016. – С. 73–76.

Газизов Тимур Тальгатович

Канд. техн. наук, доцент каф. информатики физико-математического факультета Томского государственного педагогического университета, науч. сотр. НИЛ «БЭМС РЭС» ТУСУРа
Тел.: 8 (382-2) 31-13-66
Эл. почта: timurtsk@gmail.com

Gazizov T.T.

Combined numerical method for elements of radio electronic devices optimization

Combined numerical method based on the use of genetic algorithms in conjunction with the method of moments to solve the problem of optimizing the elements of radioelectronic devices is proposed. Three mathematical models taking into account the lumped loads along wire structures are used in this method. Examples of the use of the method are given.

Keywords: math modeling, numerical method, optimization, genetic algorithms.