

УДК 621.318.3:004.021

БИОНИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦИИ

В.Я.Гальченко, докт.техн.наук, **А.Н.Якимов**, **Д.Л.Остапушенко**, канд.техн.наук,
Луганский государственный медицинский университет,
ул. 50 лет Оборона Луганска, 1, Луганск, 91045, Украина.

В данном исследовании разработан метод эффективного проведения параметрического синтеза аксиально-симметричных источников магнитного поля с ферромагнитными элементами, позволяющий находить решение задачи оптимизации в многокритериальной постановке. Задача анализа поля решается с учетом линейных и нелинейных свойств ферромагнетика с применением аппарата граничных и пространственных интегральных уравнений. С целью обеспечения нахождения глобального решения задачи оптимизации в работе применяется разработанный авторами гибридный алгоритм оптимизации роением частиц с эволюционным формированием состава роя, имеющий высокую скорость сходимости и являющийся достаточно экономным в терминах необходимого числа вычислений целевой функции. Библ. 6.

Ключевые слова: источники магнитного поля, оптимальный синтез, роевой интеллект, глобальный оптимум.

Использование источников магнитного поля с априори заданной конфигурацией магнитного поля широко распространено в различных отраслях науки и техники. Так, например, в магниторезонансных томографах, циклотронах и магнитных линзах требуются высокооднородные магнитные поля значительной интенсивности; в коэрцитиметрах пондеромоторного типа для магнитных испытаний материалов и магнитных сепараторах для обогащения руды необходимо обеспечить постоянство величины $H \operatorname{grad} H$; в функциональных магнитных датчиках линейных перемещений необходимы магнитные поля с заданной функциональной зависимостью напряженности от координаты перемещения. Значительную долю таких устройств составляют устройства с аксиально-симметричными магнитными системами. При проектировании магнитных систем, содержащих ферромагнитные элементы, необходимо определить значения их конструктивных параметров, которые бы обеспечили требуемое распределение магнитного поля. В большинстве случаев это удается достичь путем поиска оптимальной формы полюсных наконечников, размеров магнитопроводов, параметров катушек, которые выполняют функции первичных источников магнитного поля. В силу сложного характера зависимости между значениями искомых параметров и топографией создаваемого поля задача их поиска обычно формулируется и решается как задача параметрического синтеза. Также к проектируемым системам предъявляется ряд дополнительных требований, связанных с минимизацией объема их ферромагнитных элементов, потребляемой мощности, ограничений на допустимые геометрические размеры и т.п., т.е. данная задача формулируется как многокритериальная. Ввиду существенного прикладного значения ее решение привлекает к себе серьезное внимание большого числа исследователей.

Целью данной работы является разработка метода бионического многокритериального оптимального параметрического синтеза аксиально-симметричных магнитных систем с ферромагнитными элементами и заданной конфигурацией магнитного поля, основанного на гармоничном сочетании аппарата интегральных уравнений, глобального алгоритма оптимизации роением частиц с эволюционным формированием состава роя, технологии On/Off, методов GMRES и Ньютона-GMRES решения систем линейных и нелинейных уравнений большого порядка с ускоренными операциями матрично-векторного умножения, метода продолжения по параметру, а также учета трансляционной симметрии элементов разбиения.

Для обеспечения возможности нахождения глобального решения задачи синтеза разработан гибридный алгоритм оптимизации, построенный на совместном гармоничном использовании парадигмы роевого интеллекта и эволюционных стратегий, который позволяет находить глобальное решение задачи оптимизации за меньшее количество вычислений целевой функции, чем каждый из включенных в него алгоритмов [1]. Эффективность алгоритма проверялась на различных многомерных многоэкстремальных и овражных функциях, а также функциях с участками типа «плато», которые часто возникают при решении обратных задач. Для возможности синтеза магнитных систем, к которым предъявляется ряд дополнительных требований, в частности, минимизация массы ферромагнитных компонентов, уменьшение потребляемой первичными источниками поля мощности, обеспечение оптимального температурного режима, разработанный алгоритм был усовершенствован. Этого удалось добиться в результате скаляризации векторного критерия путем агрегирования частных критериев, а также использования Парето-оптимального подхода.

В работе построены параметризованные математические модели магнитных систем для случая постоянства намагниченности ферромагнитных элементов [2, 3], а также для линейного и нелинейного случаев зависимости между намагниченностью и напряженностью магнитного поля. В линейном случае задача анализа решалась с использованием аппарата граничных интегральных уравнений [4], в нелинейном случае применялись пространственные интегральные уравнения, записанные относительно распределения намагниченности ферромагнетика [5, 6]. Чтобы убедиться в корректности расчета магнитного поля, модели были протестированы на ряде случаев, для которых известно точное аналитическое решение, а также когда имеются экспериментальные данные. Предложенный метод оптимально-параметрического синтеза был применен для проектирования магнитных систем различных намагничивающих уст-

ройств, коэрцитиметров с частично замкнутой магнитной системой, обеспечивающих однородное магнитное поле, а также коэрцитиметров пондеромоторного типа с градиентными полями.

Выводы. Разработан метод проведения бионического Парето-оптимального параметрического синтеза аксиально-симметричных магнитных систем с ферромагнитными элементами конструкции и заданной конфигурацией магнитного поля, позволяющий получать в рабочем объеме однородные и неоднородные магнитные поля, адекватность которого подтверждена тщательной верификацией.

1. Гальченко В.Я., Якимов А.Н., Остапущенко Д.Л. Поиск глобального оптимума функций с использованием гибрида мультиагентной роевой оптимизации с эволюционным формированием состава популяции // Информационные технологии. – 2010. – № 10. – С. 9–16.
2. Гальченко В.Я., Якимов А.Н., Остапущенко Д.Л. Параметрический синтез формы аксиально-симметричных полюсов электромагнита для создания однородного магнитного поля // Электротехника і електромеханіка. – 2010. – № 2. – С. 33–36.
3. Гальченко В.Я., Якимов А.Н. Оптимальное конструирование электромагнитов с коническими полюсами для генерации высокооднородного магнитного поля // Электронное моделирование. – 2010. – Т.32. – №6. – С. 85–96.
4. Гальченко В.Я., Якимов А.Н., Остапущенко Д.Л. Использование метода граничных интегральных уравнений в оптимальном 3-D проектировании осесимметричных электромагнитов с выбором формы полюсных наконечников // Электротехника і електромеханіка. – № 6. – 2010. – С. 20–24.
5. Гальченко В.Я., Якимов А.Н., Остапущенко Д.Л. Решение обратной задачи создания однородного магнитного поля в коэрцитиметрах с частично замкнутой магнитной системой // Дефектоскопия. – 2011. – №5. – С. 3–18.
6. Якимов А.Н., Гальченко В.Я., Остапущенко Д.Л. Интеллектуальная система оптимального параметрического синтеза источников магнитных полей // Искусственный интеллект. – 2011. – № 4. – С. 374–379.

УДК 621.318.3:004.021

БІОНІЧНИЙ ПАРАМЕТРИЧНИЙ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНИЙ СИНТЕЗ АКСІАЛЬНО-СИМЕТРИЧНИХ ДЖЕРЕЛ МАГНІТНИХ ПОЛІВ З ФЕРОМАГНІТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ КОНСТРУКЦІЇ

В.Я. Гальченко, докт.техн.наук, О.М. Якимов, Д.Л. Остапущенко, канд.техн.наук,

Луганський державний медичний університет, вул. 50-річчя Оборони Луганська, 1, Луганськ, 91045, Україна.

У даному дослідженні розроблено метод ефективного проведення параметричного синтезу аксіально-симетричних джерел магнітного поля з феромагнітними елементами, що дозволяє знаходити розв'язання задачі оптимізації у багатокритеріальній постановці. Задача аналізу вирішується з урахуванням лінійних та нелінійних властивостей феромагнетика з використанням апарату граничних та просторових інтегральних рівнянь. З метою забезпечення знаходження глобального розв'язання задачі оптимізації у роботі використовується розроблений авторами гібридний алгоритм оптимізації роєм часток з еволюційним формуванням складу рою, що має високу швидкість збіжності та є достатньо економічним у термінах необхідного числа обчислень цільової функції. Бібл. 6.

Ключові слова: джерела магнітного поля, оптимальний синтез, ройовий інтелект, глобальний оптимум.

BIONIC PARAMETRIC PARETO-OPTIMAL SYNTHESIS OF AXIALLY SYMMETRIC MAGNETIC FIELD SOURCES WITH FERROMAGNETIC CONSTRUCTIVE ELEMENTS

V.Ya. Halchenko, O.M. Yakymov, D.L. Ostapushchenko,

State Institution «Lugansk State Medical University», 50 let Oborony Luganska, 1, Lugansk, 91045, Ukraine.

In this research a method of efficient parametric synthesis of axially symmetric magnetic field sources with ferromagnetic elements has been developed that allows finding a solution of optimization problem in multicriterion statement. Problem of magnetic field analysis is solved with taking into account linear and nonlinear properties of ferromagnetic with using of border and volume integral equations approach. Developed by authors a hybrid optimization algorithm by swarm of particles with evolutionary formation of swarm composition is used to provide a seeking of global solution of the problem. This algorithm has high convergence speed, and it is economical in terms of an objective function computations. References 6.

Key words: sources of the magnetic field, optimal synthesis, swarm intelligence, global optimum.

1. Halchenko V.Ya., Yakimov A.N., Ostapushchenko D.L. Search of a global optimum of functions using a hybrid of multiagent swarm optimization with evolutionary formation of the population composition // Informatsionnye tekhnologii. – 2010. – № 10. – Pp. 9–16. (Rus)
2. Halchenko V.Ya., Yakimov A.N., Ostapushchenko D.L. Parametric synthesis of axially symmetric pole shape of electromagnets for creation of the uniform magnetic field // Elektrotehnika i elektromekhanika. – 2010. – № 2. – Pp. 33–36. (Rus)
3. Halchenko V.Ya., Yakimov A.N. Optimal design of electromagnets with conical poles for generation of the high-uniform magnetic field // Elektronnoe modelirovanie. – 2010. – Vol. 32. – № 6. – Pp. 85–96. (Rus)
4. Halchenko V.Ya., Yakimov A.N., Ostapushchenko D.L. Using of the border integral equations in optimal 3-D design of axially symmetric electromagnets with choice of pole pieces shape // Elektrotehnika i elektromekhanika. – № 6. – 2010. – Pp. 20–24. (Rus)
5. Halchenko V.Ya., Yakimov A.N., Ostapushchenko D.L. Solution of the inverse problem of creating a uniform magnetic field in coercimeters with partially closed magnetic systems // Defektoskopiia. – 2011. – №5. – Pp. 3–18. (Rus)
6. Halchenko V.Ya., Yakimov A.N., Ostapushchenko D.L. Intelligent system of optimal parametric synthesis of magnetic field sources // Iskustvennyi intellekt. – 2011. – № 4. – Pp. 374–379. (Rus)

Надійшла 20.12.2011

Received 20.12.2011