

М.В.Загирняк, докт.техн.наук (Кременчугский государственный ун-т им. Михаила Остроградского),
И.А.Шведчикова, канд.техн.наук (Восточноукраинский нац. ун-т им. Владимира Даля, Луганск)

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СТРУКТУР МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Показана возможность реализации генетического алгоритма для синтеза структурных разновидностей магнитных сепараторов на примере базового Вида цилиндрических продольно-симметричных у-ориентированных. Обоснована достоверность результатов синтеза.

Показано можливість реалізації генетичного алгоритму для синтезу структурних різновидів магнітних сепараторів на прикладі базового Вида циліндричних поздовжньо-симетричних у-орієнтованих. Обґрунтовано достовірність результатів синтезу.

Введение. Расширение в современных условиях областей применения магнитных сепараторов и связанный с этим рост разнообразия устройств для магнитной сепарации приводят к тому, что при их проектировании высоким является удельный вес поисковых проектных процедур [1]. На практике поиск и синтез новых структурных вариантов имеет преимущественно эвристический характер и основан на использовании интуиции и личного опыта проектировщика [2]. В этих условиях актуальны исследования, направленные на установление закономерностей процессов структурообразования магнитных сепараторов и разработку методологических инструментов, позволяющих реализовать направленный поиск и синтез их новых структурных разновидностей.

Обоснование методологии исследования. Определение Видового разнообразия и разработка генетической систематики [5,7] класса магнитных сепараторов с открытой рабочей зоной, рабочая область с магнитным полем которых является внешней по отношению к полюсной системе устройства, обуславливают возможности для системного изучения и упорядочения процессов структурообразования в пределах отдельно взятых базовых Видов магнитных сепараторов.

Для отображения внутренней, генетически обусловленной, структуры Вида предназначены генетические модели [4,6], отражающие процесс усложнения уровней структурной организации произвольного Вида во времени. Постановка и решение задач направленного поиска и генерации новых структур с использованием генетических моделей составляет сущность генетического внутривидового синтеза электромеханических систем. Методология решения таких задач основана на использовании генетических алгоритмов (ГА) [6]. В настоящей статье выносятся на обсуждение результаты исследований по применению ГА для синтеза новых структур магнитных сепараторов.

Постановка задачи исследования. Постановку и решение задачи внутривидового генетического синтеза будем осуществлять на примере базового Вида цилиндрических продольно-симметричных у-ориентированных структур (генетический код – ЦЛ 0.2у) семейства магнитных сепараторов с открытой рабочей зоной, генетическая модель видообразования которого показана на рис. 1 [4]. Этот Вид имеет статус реально-информационного и доминирующего [5], что даст возможность проверить достоверность результатов синтеза.

Исходя из положений генетической теории, процесс образования структур в пределах Вида осуществляется через механизмы генерации идеализированных пространственных структур (хромосомных наборов) на уровне генома Вида [6]. Согласно принципу сохранения генетической информации первичного источника поля, признаки, свойственные структурам генетического уровня, сохраняются в последующих поколениях структур с более высоким уровнем структурной сложности.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: S_0 – порождающая структура (электромагнитная хромосома) хромосомного набора первого поколения, представляющая собой результат скрещивания первичной твердотельной структуры $S_{0(1)}$ (двухполюсного индуктора магнитного поля) и дискретной вторичной структуры $S_{0(2)}$ (набора ферромагнитных тел); S_{21} , S_{22} – порождающие структуры (электромагнитные хромосомы) хромосомного набора второго поколения; S_{31} , S_{32} – порождающие структуры (электромагнитные хромосомы) хромосомного набора третьего поколения; P_{11} , P_{21} , P_{12} , P_{31} , P_{32} – структурные популяции магнитных сепараторов.

Для реализации процедуры направленного синтеза структур магнитных сепараторов с использованием ГА необходимо определить существенные признаки p_{s1} , p_{s2} синтезируемых структур, удовлетворяющие целевой функции F_S синтеза

$$F_S = (p_{s1}, p_{s2}). \quad (1)$$

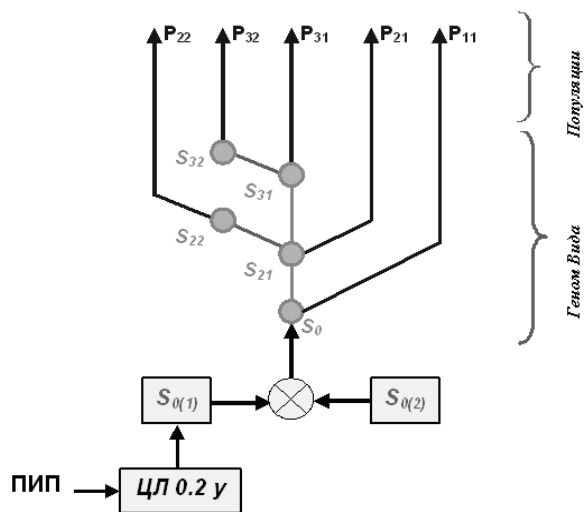


Рис. 1

К существенным признакам синтезируемых структур могут быть отнесены: p_{s1} – наличие не более двух многополюсных индукторов магнитного поля; p_{s2} – осевая последовательность пространственной компоновки индукторов.

Для корректного решения задачи синтеза на область Q_S накладываются следующие ограничения $L=f(x)$:

1. Генетический оператор f_R репликации отвечает за количественный состав пространственных композиций (структур), образованных соответственно из k_R -го количества северных и южных полюсов многополюсных индукторов сепараторов, где k_R – коэффициент репликации, удовлетворяющий условию $k_R \leq 2$.

2. Генетический оператор f_E электромагнитной инверсии моделирует процессы в двухиндукторных структурах, отличительным признаком которых является встречное направление вращения магнитного поля одного из индукторов относительно направления вращения магнитного поля другого.

3. Генетический оператор f_M мутации моделирует процессы, связанные с изменением геометрических размеров элементов структуры без изменения их формы.

С учетом этого, задача направленного поиска и синтеза структурных разновидностей магнитных сепараторов базового Вида ЦЛ 0.2у может быть сформулирована следующим образом: по известной целевой функции $F_S=(p_{s1}, p_{s2})$ синтеза и заданной совокупности $L=f(x_1, x_2, x_3)$ ограничений с использованием генетической модели видообразования синтезировать конечное множество структур, удовлетворяющих функции F_S и образующих генофонд цилиндрических магнитных систем сепараторов рассматриваемого базового Вида.

Генерация хромосомных наборов. Как уже отмечалось, процесс порождения структур в пределах произвольного Вида осуществляется через механизмы генерации идеализированных пространственных структур или хромосомных наборов. При этом структуры хромосом определяются принципом целостности электромеханической структуры и комбинаторными вариантами подачи генетической информации [6].

Порождающей структурой хромосомного набора первого поколения, определяющей генетические свойства структурной популяции P_{11} и отвечающей за наследственные признаки двухполюсных систем ($k_R=1$), является электромеханическая пара S_0 (рис. 1):

$$((S_{0(1)} \times S_{0(2)}) \rightarrow S_0 \rightarrow P_{11}) \subset S_{\text{ЦЛ}0.2\text{у}}, \quad (2)$$

где $S_{\text{ЦЛ}0.2\text{у}}$ – исследуемый базовый Вид.

Все потенциально возможные варианты структур данного хромосомного набора являются геометрическими объектами трехмерного пространства R^3 . Синтез множества возможных пространственных структур (или компоновок полюсов индуктора магнитного поля) можно осуществить, применяя аппарат геометрического моделирования [3]. Генерация пространственных композиций осуществляется путем последовательного применения геометрических преобразований по отношению к порождающей структуре S_0 (рис. 2) в виде поочередных комбинаторных перестановок магнитных полюсов соответственно вдоль оси вращения (структура S_{X11} , рис. 2, а), в поперечном сечении цилиндрического индуктора (структура S_{Y11} , рис. 2, б), а также в направлении, ортогональном оси вращения индуктора (структура S_{Z11} , рис. 2, в),

$$f(S_0) \rightarrow (S_{X11}, S_{Y11}, S_{Z11}), \quad (3)$$

где f – функция геометрического преобразования.

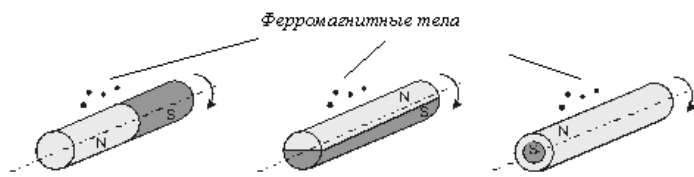


Рис. 2, а, б, в

В пространственных структурах S_{X11} (рис. 2, а) и S_{Y11} (рис. 2, б) рабочей поверхностью притяжения является боковая поверхность цилиндра, что позволяет отнести данные структуры к рассматриваемому базовому Виду ЦЛ 0.2у. Структуру S_{Z11} (рис. 2, в) с расположением рабочей поверхности притяжения в торцевой зоне, что является характерным для структурных представителей геометрического класса

«тороидальные плоские», следует исключить из дальнейшего рассмотрения.

В дальнейших рассуждениях примем, что индекс «X» в условном обозначении синтезируемой структуры указывает на то, что полярность полюсов индуктора чередуется вдоль его оси вращения. Индекс «Y» указывает на чередование полярности полюсов в поперечном сечении индуктора.

Хромосомный набор второго поколения представлен порождающими структурами S_{21} и S_{22} , определяющими структурные особенности популяций P_{21} и P_{22} , соответственно (рис. 1). Порождающая структура S_{21} представляет собой результат действия оператора f_R репликации по отношению к электромагнитной хромосоме S_0 при коэффициенте репликации $k_R = 2$ и отвечает за наследственные признаки четырехполюсных магнитных систем сепараторов

$$(f_R(S_0) \rightarrow S_{21} \rightarrow P_{21}) \subset S_{ЦЛ0.2у}. \quad (4)$$

Возможные пространственные композиции реплицированных структур с чередованием полярности полюсов вдоль оси вращения индуктора могут быть получены путем переноса полюсов структуры S_{X11} (рис. 2, а) вдоль оси симметрии (вращения). В свою очередь, пространственные структуры с чередованием полярности полюсов в поперечном сечении индуктора могут быть получены путем масштабирования полюсов структуры S_{Y11} (рис. 2, б) в двумерном плоскомеридианном пространстве R^2 и их поворота относительно оси симметрии индуктора.

Тогда конечное множество пространственных структур, синтезированных на основе электромагнитной хромосомы S_{21} , включает следующие структуры: S_{X21} , S_{Y21} – пространственные структуры с прямым чередованием полюсов (рис. 3, а, в); S_{X*21} , S_{Y*21} – пространственные структуры с инверсным чередованием полюсов индукторов (рис. 3, б, г).

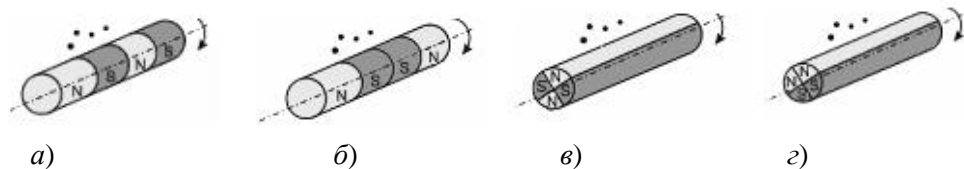


Рис. 3

Полученные структуры (рис. 3) представляют собой пространственные композиции одноиндукторных четырехполюсных ($k_R=2$) магнитных систем сепараторов. При этом четырехполюсная структура S_{Y*21} (рис. 3, г) в магнитном отношении эквивалентна двухполюсной структуре S_{Y11} (рис. 2, б). Структурные композиции S_{X21} , S_{X*21} (рис. 3, а, б) могут рассматриваться также как двухиндукторные структуры, образованные двухполюсными ($k_R=1$) индукторами.

Каждая из представленных на рис. 2 и рис. 3 структур образует непустое множество составляющих ее элементов (полюсов индукторов). Последовательное объединение указанных множеств приводит к следующему результату:

$$\begin{aligned} S_{X11} \cup S_{Y11} = S_{X11Y11} = S_{X21Y21}; & \quad S_{X21} \cup S_{X11} = \emptyset; & \quad S_{X*21} \cup S_{X11} = \emptyset; & \quad S_{X21} \cup S_{Y11} = S_{X21Y11}; \\ S_{X*21} \cup S_{Y11} = S_{X*21Y11}; & \quad S_{X21} \cup S_{X*21} = \emptyset; & \quad S_{Y21} \cup S_{Y*21} = \emptyset; & \quad S_{X21} \cup S_{Y21} = S_{XY21}; \\ S_{X21} \cup S_{Y*21} = S_{XY*21}; & \quad S_{X*21} \cup S_{Y21} = S_{X*Y21}; & \quad S_{X*21} \cup S_{Y*21} = S_{X*Y*21}. \end{aligned} \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что генерация новых структур возможна только при объединении исходных структур с различными направлениями чередования полюсов индукторов, т.е. с чередованием полярности полюсов соответственно вдоль оси вращения и в поперечном сечении цилиндра.

рического индуктора. Пространственные композиции реплицированных структур, полученные путем последовательного объединения, представлены на рис. 4: S_{X21Y21} (рис. 4, а); S_{X21Y11} (рис. 4, б); $S_{X*21Y11}$ (рис. 4, в); S_{XY21} (рис. 4, г); S_{XY*21} (рис. 4, д); S_{X*Y21} ; (рис. 4, е); S_{X*Y*21} (рис. 4, ж). При этом пространственные структуры S_{X21Y11} (рис. 4, б) и S_{XY*21} (рис. 4, д), а также $S_{X*21Y11}$ (рис. 4, в) и S_{X*Y*21} (рис. 4, ж) эквивалентны в магнитном отношении.

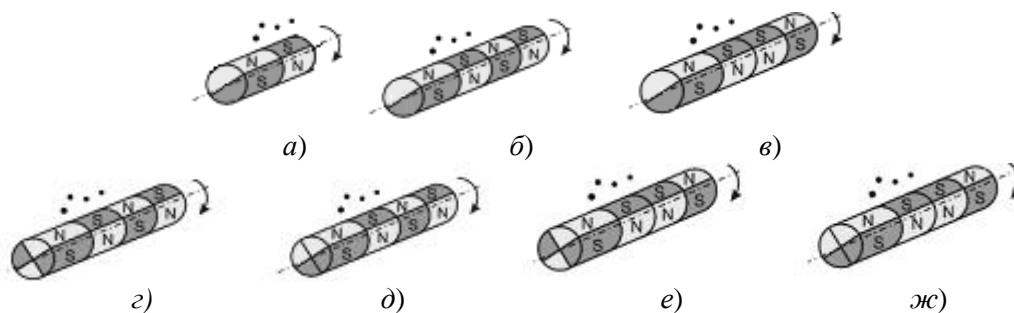


Рис. 4

Из представленных на рис. 4 структур только одна структура S_{X21Y21} (рис. 4, а) удовлетворяет заданному коэффициенту репликации $k_R = 2$. Данная структура также может рассматриваться как двухиндукторная, состоящая из двух двухполюсных ($k_R=1$) индукторов. Пространственные структуры S_{X21Y11} (рис. 4, б) и $S_{X*21Y11}$ (рис. 4, в) соответствуют коэффициенту репликации $k_R=4$, а структуры S_{XY21} (рис. 4, г), S_{XY*21} (рис. 4, д), S_{X*Y21} (рис. 4, е) и S_{X*Y*21} (рис. 4, ж) – коэффициенту репликации $k_R=8$, что превышает его заданное пороговое значение ($k_R \leq 2$). Структурные композиции S_{X21Y11} и $S_{X*21Y11}$ (рис. 4, б, в) могут рассматриваться также как двухиндукторные системы, образованные четырехполюсными индукторами с коэффициентом репликации $k_R=2$ каждый.

Таким образом, общее количество реплицированных структур, синтезированных на основе электромагнитной хромосомы S_{21} и удовлетворяющих заданной целевой функции синтеза и принятой системе ограничений, равно семи

$$f(S_{21}) \rightarrow (S_{X21}, S_{X*21}, S_{X21Y21}, S_{Y21}, S_{Y*21}, S_{X21Y11}, S_{X*21Y11}), \quad (6)$$

где $S_{X21}, S_{X*21}, S_{X21Y21}$ – четырехполюсные структуры, которые могут быть как одно-, так и двухиндукторными; S_{Y21}, S_{Y*21} – одноиндукторные четырехполюсные структуры; $S_{X21Y11}, S_{X*21Y11}$ – двухиндукторные четырехполюсные структуры.

Порождающая структура S_{22} определяет структурное наполнение популяции P_{22} реплицированных инверсных структур

$$(f_E(S_{21}) \rightarrow S_{22} \rightarrow P_{22}) \subset S_{ЦП0.2}. \quad (7)$$

Согласно принятой системе ограничений, инверсные структуры могут быть получены только для двухиндукторных структур, у которых направление вращения магнитного поля одного из индукторов является встречным направлению вращения магнитного поля другого. С учетом этого, конечное множество пространственных структур, синтезированных на основе инверсной электромагнитной хромосомы S_{22} , может быть представлено в виде

$$f(S_{22}) \rightarrow (S_{X22}, S_{X*22}, S_{X22Y22}, S_{X22Y11}, S_{X*22Y11}), \quad (8)$$

где $S_{X22}, \dots, S_{X*22Y11}$ – пространственные двухиндукторные структуры инверсного типа.

Общее количество синтезированных на основе инверсной электромагнитной хромосомы S_{22} структур, как следует из выражения (8), равно пяти.

Таким образом, хромосомный набор второго поколения, удовлетворяющий заданной целевой функции синтеза и принятым ограничениям, включает 12 (7+5) синтезированных структур.

Хромосомный набор третьего поколения представлен порождающими структурами S_{31} и S_{32} (рис. 1). Структура S_{31} представляет собой результат действия оператора f_M мутации по отношению к структуре S_{21} , заключающийся в изменении геометрических размеров полюсов индукторов,

$$(f_M(S_{21}) \rightarrow S_{31} \rightarrow P_{31}) \subset S_{ЦП0.2y}. \quad (9)$$

Возможные пространственные композиции структур в данном случае могут быть представлены вариантами структур, полюса одной или разных полярностей которых отличаются геометрическими размерами. Это значит, что из каждой структуры хромосомного набора второго поколения (5) могут быть получены две новые структуры, относящиеся к хромосомному набору третьего поколе-

ния и отличающиеся геометрическими размерами полюсов одной или разных полярностей. Тогда общее количество структур, синтезированных на основе электромагнитной хромосомы S_{31} , составит 14.

Порождающая структура S_{32} определяет структурное наполнение популяции инверсных структур

$$(f_E(S_{31}) \rightarrow S_{32} \rightarrow P_{32}) \subset S_{ЦЮ.2у}. \quad (10)$$

Общее количество структур, синтезированных на основе электромагнитной хромосомы S_{32} , равно 10. Это значит, что из каждой структуры, представленной в формуле (8), могут быть получены две новые, полюса одной или разных полярностей индукторов которых отличаются геометрическими размерами. Таким образом, хромосомный набор третьего поколения, удовлетворяющий заданной целевой функции синтеза и принятым ограничениям, включает 24 (14+10) синтезированных структур.

Проверка достоверности результатов исследований. В результате реализации генетического алгоритма получено 36 структур, образующих генофонд цилиндрических магнитных систем сепараторов базового Вида ЦЮ.2у. Достоверность результатов генетического синтеза определена путем сравнения результатов патентно-информационного поиска и результатов синтеза.

По результатам поиска выявлены структурные представители шести синтезированных структур, относящиеся к классу шкивных магнитных сепараторов [2], что подтверждает достоверность принятой методики синтеза. Структурный потенциал 30 структур, не выявленных по результатам поиска, можно рассматривать как прогностическую составляющую результатов синтеза. Указанные структуры являются потенциально работоспособными и могут служить основой для решения задач направленного синтеза оригинальных технических решений.

Заключение. С использованием генетического алгоритма синтезировано 36 структур, относящихся к одному из доминирующих базовых Видов магнитных сепараторов с открытой рабочей зоной (ЦЛ 0.2у).

Достоверность результатов генетического синтеза обоснована путем сопоставления результатов синтеза с результатами патентно-информационных исследований, в ходе которых выявлены структурные представители шести синтезированных структур. Определен прогностический потенциал результатов синтеза, включающий 30 структур с потенциальной новизной, составляющих основу для разработки оригинальных технических решений.

Результаты исследований могут быть использованы для последующего синтеза популяционной структуры других Видов неявного типа, а также для построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений при усовершенствовании существующих и разработке новых конструкций магнитных сепараторов.

1. Загирняк М.В., Шведчикова И.А. Проблема систематизации магнитных сепараторов // Техн. електродинаміка. Тем. вип. „Проблеми сучасної електротехніки”. – 2006. – Ч.8. – С. 91–94.
2. Загирняк М.В. Исследование, расчет и усовершенствование шкивных магнитных сепараторов. – К.: ИСМО, 1996. – 488 с.
3. Михайленко В.Е., Кислоокій В.Н., Лященко А.А. Геометрическое моделирование и машинная графика в САПР. – К.: Вища школа, 1991. – 374 с.
4. Шведчикова И.А. Определение внутривидового структурного разнообразия магнитных сепараторов // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту ім. Михайла Остроградського. – 2009. – Ч. 1. – № 5. – С. 18–22.
5. Шведчикова И.А. Определение инновационного потенциала функционального класса магнитных сепараторов // Там же. – 2009 – Ч. 2. – № 3. – С. 86–89.
6. Шинкаренко В.Ф. Основи теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наук. думка, 2002. – 288 с.
7. Шинкаренко В.Ф., Загирняк М.В., Шведчикова И.А. Макрогенетический анализ и ранговая структура систематики магнитных сепараторов // Електротехніка і електромеханіка. – 2009. – № 5. – С. 33–39.

Надійшла 24.11.2009