

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

На правах рукописи

СЫТНИК АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ

**МНОГОМОДУЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ
СИСТЕМЫ С БЕГУЩИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

Специальность 05.09.05 – "Теоретическая электротехника"

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Киев – 1997

321.3.01

AB 36,755

Диссертация является рукописью.
Работа выполнена в Черкаском институте.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00760876 (Y)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор А.А.Тимченко.

Научный консультант: заслуженный деятель науки и техники Украины, доктор технических наук, профессор А.П.Верлянь.

Официальные оппоненты:

1. Член-корреспондент НАН Украины, доктор технических наук, В.Ф.Резцов.

2. Кандидат технических наук Е.И.Петрушенко.

Ведущая организация - Национальный технический университет "Киевский политехнический институт".

Защита состоится "20" февраля 1997 г. в 14⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К 01.91.03 при Институте проблем моделирования в энергетике НАН Украины по адресу: 252164, Киев-164, улица Генерала Наумова, 15.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института проблем моделирования в энергетике НАН Украины.

Автореферат разослан "15" января 1997 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук

Э.П.Семагина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Решение проблемы внедрения автоматических линий, станков с числовым программным управлением (ЧПУ), гибких производственных систем (ГПС), роботизированных технологических комплексов (РТК) в машино- и приборостроении, в значительной мере зависит от эффективности методов и средств межоперационного перемещения мелкодисперсных ферромагнитных материалов (ферропорошков, окалины, стружки и т.п.) и мелких стальных изделий (болты, гайки, валики, втулки и т.п.), а также позиционирования и ориентирования деталей в процессе движения. Создание указанных методов и средств представляет собой важную научно-техническую задачу, которую пока нельзя считать решенной.

Поэтому, наряду с усовершенствованием существующих приемов обеспечения эффективности межмашинных и внутримашинных связей, следует считать своевременным проведение исследований, направленных на разработку электромагнитных средств перемещения, в частности, с использованием бегущего магнитного поля (БМП).

Целью диссертационной работы является разработка методики организации и исследование многомодульных электромагнитных систем с бегущим магнитным полем, предназначенных для перемещения мелкодисперсных ферромагнитных тел.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- исследование множества различных вариантов конфигураций магнитопровода многофункционального электромагнитного модуля (МЭМ) и определение распределения элементарных сил в пространстве, окружающем магнитопровод;
- проведение анализа макроусилий, действующих на перемещаемые тела различной формы в БМП, с учетом искажений поля, вносимых самим движущимся телом;
- исследование движения твердого ферромагнитного тела небольших размеров в бегущем магнитном поле для реальных условий;
- разработка методики расчета параметров МЭМ из условия минимизации поперечных (паразитных) и максимизации продольных (полезных) сил;

ЛНБ им. В. Стефанни
АН Украины

- разработка эффективного способа рекуперации энергии бегущего магнитного поля при работе МЭМ (в связи с тем, что многомодульные электромагнитные системы (МЭС) с БМП являются сравнительно мощными потребителями электроэнергии);

- разработка и исследование модульного метода построения электромагнитной системы генерирования бегущего магнитного поля для осуществления перемещения мелкодисперсных ферромагнитных тел;

- разработка методики организации многомодульных электромагнитных систем с бегущим магнитным полем.

Научная новизна работы заключается в :

- разработке модульного метода построения электромагнитной системы генерирования бегущего магнитного поля для перемещения мелкодисперсных ферромагнитных материалов;

- разработке алгоритма и методики расчета магнитной системы многофункционального электромагнитного модуля, являющегося основой многомодульной электромагнитной системы;

- разработке алгоритма и методики расчета тяговых характеристик многофункционального электромагнитного модуля;

- моделировании динамики твердого ферромагнитного тела в бегущем магнитном поле в реальном времени;

- разработке методики определения характеристик и параметров многофункционального электромагнитного модуля;

- исследовании процессов рекуперации энергии бегущего магнитного поля в многомодульных электромагнитных системах;

- разработке алгоритма управления бегущим магнитным полем для перемещения деталей в случае замены транспортного ротора роторно-конвейерной линии (РКЛ) электромагнитной транспортной системой.

Исследования основаны на методах теоретической электротехники, математического и компьютерного моделирования, схемотехники, вычислительной математики.

Практическая ценность.

Полученные результаты исследований позволяют проектировать и создавать многомодульные электромагнитные системы с бегущим магнитным полем для использования в технических средствах перемещения ферромагнитных тел мелких размеров и мелкодисперсных ферромагнитных материалов.

Автор защищает следующие основные положения и результаты:

1. Модульный метод построения электромагнитной системы генерирования бегущего магнитного поля для перемещения мелкодисперсных ферромагнитных тел.

2. Алгоритм и методику расчета магнитной системы многофункционального электромагнитного модуля, являющегося основной многомодульной электромагнитной системы.

3. Алгоритм расчета тяговых характеристик многофункционального электромагнитного модуля.

4. Методику гибридного моделирования, для качественного и количественного исследования динамических режимов работы модуля.

5. Способ частичной рекуперации энергии в многомодульных электромагнитных системах с бегущим магнитным полем.

6. Способ теоретической и экспериментальной оценки возможной эффективности рекуперации энергии бегущего магнитного поля.

7. Методику определения характеристик и параметров многофункционального электромагнитного модуля.

8. Алгоритм управления бегущим магнитным полем многомодульной электромагнитной системы в роторно-конвейерных линиях.

Реализация результатов работ.

Результаты диссертационной работы использовались при выполнении научно-исследовательских работ в Черкасском инженерно-технологическом институте для промышленных предприятий приборостроительного и станкостроительного профиля.

Исследования автора проводились в рамках следующих научно-исследовательских работ:

- "Разработка унифицированных средств транспортировки заготовок, полуфабрикатов и отходов металлообработки с помощью бегущего магнитного поля" (№ ГР 01.86.0023982);

- "Анализ и разработка устройств межоперационного электромагнитного и альтернативного транспорта в РТК и ГПС" (№ ГР 01.88.0073647);

- "Разработка электромагнитной системы стружкоуборки зубодолбежного станка модели 5A122" (№ ГР 01.90.015195).

В рамках этих работ была разработана и изготовлена действующая электромагнитная транспортная система стружкоуборки для зубодолбежного станка модели 5A122 с бегущим магнитным полем. По оценкам заказчика экономический эффект в ценах

1990 года составил 100 тыс. руб. Документы по внедрению результатов диссертационной работы приведены в приложении 1.

Апробация работы.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на конференциях:

Международной конференции стран СНГ "Контроль и управление в технических системах" (г. Винница, 1993), Всесоюзной конференции "Математическое моделирование в энергетике" (г. Киев, 1990), Всесоюзной конференции "Техническое и программное обеспечение комплексов полунатурного моделирования" (г. Гродно, 1988), а также на четырех конференциях Черкасского инженерно-технологического института (г. Черкассы, 1987-1990).

Публикации.

По результатам диссертационной работы опубликовано 10 печатных работ. Кроме этого, результаты исследований отражены в трех отчетах о законченных НИР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка используемой литературы и двух приложений. Объем работы 142 стр. машинописного текста, 73 рисунка, 3 таблицы. Список используемой литературы насчитывает 105 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулирована цель диссертационной работы, необходимость исследований, научная новизна и практическая ценность работы, а также изложено краткое содержание диссертации.

В первой главе приводится сравнительный анализ методов создания бегущего магнитного поля. Рассмотрен модульный метод построения электромагнитной системы генерирования БМП для систем перемещения мелкодисперсных ферромагнитных тел. Перечислены достоинства предложенного метода создания бегущего магнитного поля и отмечены затруднения, возникающие при его реализации.

Указаны технологические процессы, в которых может быть эффективно использован разработанный метод. Приведен пример использования бегущего магнитного поля, созданного многомодульной электромагнитной системой в роторно-конвейерных

линиях, что предполагает снижение их стоимости и габаритов. Сформулированы научные и практические задачи, решаемые в диссертационной работе.

Анализ методов создания бегущего магнитного поля показал, что подавляющее большинство существующих методов предназначено для перемещения сравнительно крупных ферромагнитных тел или больших масс мелкодисперсных ферромагнитных материалов и имеют большой расход энергии, который при средней производительности составляет около 800 Вт/ч на один погонный метр перемещения.

Практически во всех рассмотренных методах создания бегущего магнитного поля его генерация осуществлялась под действием переменного тока. Существенно менее известны варианты генерации БМП путем коммутации магнитных систем с управлением от сети постоянного тока. В этом случае появляется возможность управлять скоростью перемещения рабочего бегущего магнитного поля.

Такое БМП позволяет существенно уменьшить полюсное расстояние (расстояние между центрами соседних электромагнитов), что в свою очередь облегчает перемещение мелкодисперсных сыпучих ферромагнитных материалов. Кроме того, питание электромагнитов, создающих бегущее магнитное поле, постоянным током уменьшает потери энергии по сравнению с вариантом питания переменным током (вихревые токи, а также перемагничивания магнитопровода вызывают потери энергии).

В данной работе исследуется бегущее магнитное поле, создаваемое разработанным многофункциональным электромагнитным модулем. Многофункциональным он назван в связи с тем, что, кроме перемещения ферромагнитных тел мелких размеров (ферропорошков, окалины, стружки и т.п.) и мелких стальных изделий (болты, гайки, валики, втулки и т.п.), разработанный модуль может быть использован также для позиционирования и ориентирования деталей в процессе движения, а после определенной коммутации электромагнитов МЭМ и для фиксации деталей при обработке.

Многофункциональный электромагнитный модуль представляет собой магнитную систему с K_p -пазами и катушками, где $p \geq 4$ — число тактов в коммутаторе преобразователя, питающего эти катушки; K — целое число $-1, 2, 3, \dots$. Модуль выполнен в виде параллелепипеда с соотношением длины к ширине, равной 2:1, а

все катушки имеют унифицированную конструкцию и параметры. Многоканальный программируемый источник управляющих сигналов обеспечивает генерацию в МЭМ бегущего магнитного поля.

Эффект пространственного перемещения достигается благодаря взаимодействию бегущего магнитного поля, создаваемого многофункциональным электромагнитным модулем, с ферромагнитным мелкоразмерным материалом. Располагая МЭМ последовательно друг за другом, можно достичь желаемого направления перемещения ферромагнитных тел. При этом перемещение ферромагнитного тела с последнего электромагнита МЭМ на следующий многофункциональный электромагнитный модуль осуществляется первым электромагнитом МЭМ, расположенным далее по траектории движения. Перемещение возможно во взаимно-перпендикулярных направлениях по горизонтали, а также под любым углом к горизонту.

Размещение электромагнитных модулей параллельно друг другу позволяет изменять площадь поверхности, по которой происходит движение.

Такие способы организации многофункциональных электромагнитных модулей и могут представлять собой простейшие варианты построения многомодульных электромагнитных систем с бегущим магнитным полем.

Во второй главе разрабатывается методика математического и компьютерного моделирования многофункционального электромагнитного модуля.

На первом этапе рассчитывается оптимальное соотношение сил (максимальное значение тяговых и минимальное значение поперечных сил) в многофункциональном электромагнитном модуле в зависимости от его размеров и конфигурации магнитной системы.

Учитывая частотный диапазон работы модуля (0.1 ± 20 Гц.), соотношение между длиной паза и полюсного деления, с достаточной точностью можно принять магнитное поле квазистационарным. В качестве численного метода расчета магнитного поля МЭМ принят метод квадратных сеток.

Величины сил, воздействующих в магнитном поле на тела с линейными размерами, не превышающими шага сеточной области и находящиеся в некоторой точке (x, y) , (при условии пренебрежения искажением картины поля, вносимым телом) в декартовых проекциях равны

$$F_x = (\mu_a - \mu_0) V H_x \frac{\partial H_x}{\partial x} = (\mu_a - \mu_0) V \frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A_z}{\partial y} \frac{\partial \left[\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A_z}{\partial y} \right]}{\partial x}, \quad (1)$$

$$F_y = (\mu_a - \mu_0) V H_y \frac{\partial H_y}{\partial y} = (\mu_a - \mu_0) V \frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A_z}{\partial x} \frac{\partial \left[\frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A_z}{\partial x} \right]}{\partial y},$$

где $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ ГН/м - магнитная проницаемость вакуума;
 μ_a - абсолютная магнитная проницаемость; V - объем тела;
 A_z - векторный магнитный потенциал по оси Z ; H_x , H_y - напряженности магнитного поля по осям X и Y соответственно.

После расчета A_z магнитная индукция \vec{B} в декартовых проекциях имеет вид:

$$B_x = \frac{\partial A_z}{\partial y}, \quad B_y = -\frac{\partial A_z}{\partial x}, \quad B_z = 0. \quad (2)$$

Напряженность магнитного поля в декартовых проекциях

$$H_x = \frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A_z}{\partial y}, \quad H_y = \frac{1}{\mu_a} \frac{\partial A_z}{\partial x}; \quad H_z = 0. \quad (3)$$

С достаточной точностью значение элементарных сил в каждом узле сетки при рассчитанных значениях B_x , H_x , B_y , H_y можно вычислить по формуле

$$F_l = k V_l \frac{\partial H_l}{\partial l}, \quad (4)$$

где V_l, H_l - значение силы магнитной индукции и напряженности магнитного поля в l -ом направлении; k - масштабный коэффициент.

Задаваясь различным расположением катушек модуля и различной конфигурацией сердечника и ярма, по результатам расчетов тяговых и поперечных элементарных сил в узлах сетки выбираем вариант, наилучшим образом удовлетворяющий условиям максимизации тяговых и минимизации поперечных сил.

На втором этапе рассчитываются тяговые (F_x) и поперечные (F_y) силы в различных точках системы, действующие на перемещаемое ферромагнитное тело в зависимости от размеров этого тела и с учетом искажений поля от самого тела.

Значения векторного магнитного потенциала пересчитываются в магнитные индукции и с учетом выбранных положительных

направлений векторов (рис.1), формулу Максвелла для двухмерного характера поля

$$F = \frac{1}{\mu_0} \oint_k [\vec{B}(\vec{n} \cdot \vec{B}) - \frac{1}{2} B^2 \vec{n}] dh, \quad (5)$$

где \vec{B} - вектор индукции магнитного поля;
 \vec{n} - вектор нормали к поверхности тела;
 h - элемент длины контура k ,

можно представить в виде

$$F_x = \frac{h}{\mu_0} \left[\left(\sum_{гор} B_{yB} B_{xB} - \sum B_{yH} B_{xH} \right) + \frac{1}{2} \left(\sum_{верт} B_{xЛ}^2 - \sum B_{xП}^2 + \sum_{верт} B_{yП}^2 - \sum B_{yЛ}^2 \right) \right], \quad (6)$$

$$F_y = \frac{h}{\mu_0} \left[\left(\sum_{верт} B_{xЛ} B_{yЛ} - \sum_{верт} B_{xП} B_{yП} \right) + \frac{1}{2} \left(\sum_{гор} B_{yB}^2 - \sum_{гор} B_{yП}^2 - \sum_{гор} B_{xB}^2 + \sum_{гор} B_{xH}^2 \right) \right], \quad (7)$$

где h - расстояние между узлами сетки;

B_{xB}, B_{yB} - компоненты вектора магнитной индукции на верхней грани поверхности интегрирования;

B_{xH}, B_{yH} - то же на нижней грани поверхности интегрирования;

$B_{xЛ}, B_{yЛ}$ - то же на левой грани;

$B_{xП}, B_{yП}$ - то же на правой грани.

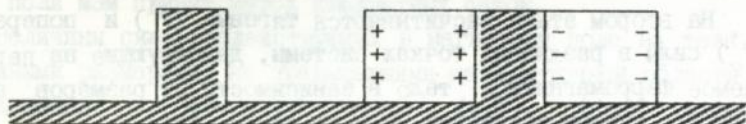
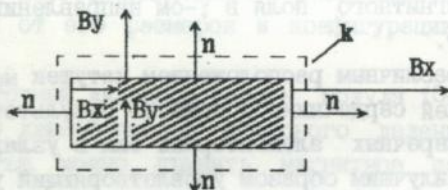


Рис.1. Ферромагнитное тело в магнитной системе модуля.

Основная итерационная формула расчета магнитной системы МЭМ имеет вид:

$$A^{i,j} = \frac{S_y^{i+1,j} A^{i+1,j} + S_x^{i,j} A^{i-1,j} + S_x^{i,j+1} A^{i,j+1} + S_x^{i,j} A^{i,j-1} + J^{i,j}}{S_y^{i+1} + S_y^{i,j} + S_x^{i,j+1} + S_x^{i,j}} * \gamma + (1-\gamma) A^{i,j}, \quad (8)$$

где $A^{i,j}$ - векторный потенциал в узле с координатами i по оси OX и j - по оси OY ; $S_x^{i,j}$, $S_y^{i,j}$ - вспомогательные массивы коэффициентов, характеризующих магнитные свойства узла (i,j) ;
 $J^{i,j}$ - токи в узле (i,j) , учитывающие влияние на векторный потенциал протекание токов в катушках;
 γ - коэффициент релаксации (принимается равным 1,8545).

На третьем этапе значения тяговых характеристик МЭМ F_x и F_y , полученных в результате расчета цифровой модели, закладываются в аналоговую часть гибридной системы, реализованной на вычислительном комплексе АВК-2(3).

Гибридная модель учитывает дополнительно следующие факторы, влияющие на работу МЭС:

- возможность перемещения тел под различными углами к горизонту;
- различные коэффициенты трения;
- динамику движения тел с учетом их инерции;
- переходные процессы в обмотках МЭМ;
- различные формы импульсов напряжения, подаваемые на обмотки от источника питания;
- различную скорость движения БМП.

Указанная выше модель модуля позволяет учесть все основные факторы, сопровождающие работу МЭС в реальных условиях с минимальной стоимостью исследований.

Третья глава посвящена разработке методики определения характеристик и параметров многофункционального электромагнитного модуля.

Определяются условия выбора количества тактов источника питания БМП и полюсного расстояния МЭМ, обеспечивающие максимальное упрощение блока электроники МЭС и уверенное перемещение мелкодисперсных ферромагнитных тел соответственно.

Предлагаемый алгоритм определения намагничивающих сил обмоток многофункционального электромагнитного модуля позво-

ляет рационально выбирать характерные размеры перемещаемых тел (длина, ширина, высота). Следует отметить, что минимальная намагничивающая сила имеет место, когда величина полюсного расстояния и наибольший характерный размер тела совпадают. Показывается, что для каждого исследуемого тела существует некоторая "резонансная" скорость БМП, сопровождаемая существенным снижением энергозатрат при перемещении.

Методика расчета геометрических параметров и обмоточных данных катушек МЭМ дает возможность в перспективе проектировать и создавать новые электромагнитные модули с улучшенными тяговыми характеристиками.

Разработан компенсированный электромагнитный модуль (КЭМ), позволяющий создавать БМП для специальных целей (таких, как ускоренное перемещение ферромагнитного материала по мере удаления от стартового положения и разгрузка заторов сыпучих материалов в концевой части траектории движения). Компенсированный модуль значительно уменьшает трения скольжения между движущимся телом и плоскостью перемещения (электромагнитная компенсация сил тяжести), а также уменьшает количество ампервитков и увеличивает срок службы покрытия КЭМ. Для соответствующих расчетов тяговых характеристик модуля разработана программа на языке СИ.

Сравнительный анализ МЭМ и КЭМ при одинаковых определяющих условиях, позволяет наиболее точно определить достоинства и недостатки модулей, а также возможные области их использования. Кроме того, дается обоснование конструктивных параметров компенсированного электромагнитного модуля.

В четвертой главе рассматриваются процессы рекуперации энергии бегущего магнитного поля в многомодульных электромагнитных системах.

Сравнительный анализ основных способов частичной рекуперации энергии БМП дает основание заключить, что наиболее перспективным является способ рекуперации электроэнергии в промежуточный накопитель (конденсатор). Способы рекуперации в источник питания (сеть переменного тока) и в последующий канал нагрузки преобразователя (катушку) не удовлетворяют предъявленным требованиям из-за затруднительности аппаратного выполнения, малой величины запасаемой энергии, сложности изменения скважности управляющих импульсов.

Разрабатывается математическая модель для оценки возмож-

ной эффективности рекуперации энергии будущего магнитного поля.

При оценке эффективности были приняты следующие допущения:

- нагрузки (катушки индуктивности) индуктивно не связаны, т.е. коэффициент их взаимной индукции очень мал;
- значение индуктивности катушек при работе устройства не изменяется (т.е. влиянием перемещаемых тел на индуктивность, пренебрегаем);
- индуктивности и емкости являются линейными;
- тепловые потери возникают только в активном сопротивлении цепи, потери энергии в магнитной цепи и в диэлектрике конденсатора не учитываются;
- диоды и тиристоры являются идеальными ключами.

Приводится эквивалентная схема одного из каналов преобразователя и дается ее математическая модель

Также определен КПД (η_2) процесса формирования магнитного поля катушки электрическим током следующим образом

$$\eta_2 = W_L / A, \quad (9)$$

где $W_L = \frac{LI_0^2}{2}$ - энергия магнитного поля катушки;

A - работа, выполненная электрическим током для создания этого поля;

I_0 - ток через RL-нагрузку в начале переходного процесса.

Эквивалентная схема этого процесса показана на рис.2.

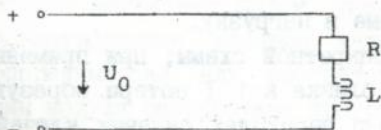


Рис.2. Схема замещения одного канала нагрузки.

Дифференциальное уравнение этого процесса

$$U_0 + IR + L \frac{\partial I}{\partial t} = 0. \quad (10)$$

В данном случае $U_0 = \text{const.}$ Откуда имеем:

$$\frac{\partial^2 I}{\partial t^2} + \frac{R}{L} \frac{\partial I}{\partial t} = 0. \quad (11)$$

Решая уравнение и подставляя начальные условия, получим

$$I = \frac{U_0}{R} (1 - e^{-Rt/L}). \quad (12)$$

Ток после окончания импульса равен

$$I_0 = \frac{U_0}{R} (1 - e^{-Rt_u/L}), \quad (13)$$

где t_u - длительность импульса напряжения.

Выполненная работа составит

$$A = \int_0^{t_u} U_0 I dt = \frac{U_0^2}{R} \left[t_u + \frac{L}{R} (e^{-Rt_u/L} - 1) \right], \quad (14)$$

следовательно, КПД

$$\begin{aligned} \eta_2 = \frac{W_L}{A} &= \frac{\frac{L}{2} \left[\frac{U_0}{R} (1 - e^{-Rt_u/L}) \right]^2}{\frac{U_0^2}{R} \left[t_u + \frac{L}{R} (e^{-Rt_u/L} - 1) \right]} = \\ &= \frac{1}{2} \frac{L}{R} \frac{(1 - e^{-Rt_u/L})^2}{t_u + \frac{L}{R} (e^{-Rt_u/L} - 1)}. \end{aligned} \quad (15)$$

КПД (η) преобразователя, как устройства, выполняющего работу по созданию электромагнитного поля в нагрузке (катушках БМП), составит

$$\eta = \eta_2 \eta_3, \quad (16)$$

где η_3 - КПД преобразователя энергии напряжения сети в импульсы напряжения, подаваемые в нагрузку.

Величина η_3 зависит от конкретной схемы; при применении ключевых элементов она будет близка к 1 (потери образуются при падении напряжения на р-п переходах силовых ключей; к потерям относится и мощность, потребляемая системой управления). Величина η_2 определена выше.

Приводится способ экспериментальной оценки рекуперации энергии БМП, позволяющий реально оценивать величину сэкономленной электроэнергии.

Разработанная и изготовленная ЭТС на основе БМП с рекуперацией энергии и с изменяемой программой управления путем замены ПЗУ, дает возможность не только транспортировать ферромагнитную стружку к месту выгрузки в накопительную емкость, но и отделять стружку от СОЖ, что позволяет многократно использовать СОЖ в технологическом процессе.

В заключении сформулированы научные результаты и практическая значимость выполненной работы.

В приложении 1 (основная часть) приводятся документы внедрения результатов диссертационной работы; в приложении 2 (часть 2) - распечатки следующих программ: расчет тяговых характеристик МЭМ и КЭМ, расчет магнитной системы МЭМ, управление БМП для РКЛ, а также эскизные чертежи МЭМ и КЭМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе проведено исследование многомодульных электромагнитных систем с бегущим магнитным полем и разработана методика их организации, представляющая собой совокупность методов моделирования и расчета условий выбора количества тактов источника питания бегущего магнитного поля и полюсного расстояния модуля, способа частичной рекуперации энергии электромагнитного поля.

В том числе получены следующие результаты:

1. Предложен модульный метод построения электромагнитной системы генерирования бегущего магнитного поля, обладающий возможностью создания устройств с новыми качествами по перемещению ферромагнитных тел (в частности, для перемещения мелкодисперсных ферромагнитных тел и материалов).

2. Разработана математическая модель для расчета магнитной системы многофункционального электромагнитного модуля с бегущим магнитным полем, позволяющая определять параметры, удовлетворяющие условию максимизации тяговых и минимизации поперечных сил. Для соответствующих расчетов магнитной системы модуля разработана программа на языке СИ.

3. Разработана математическая модель для расчета тяговых характеристик многофункционального электромагнитного модуля, дающая возможность путем многократного решения двумерной магнитнополевой задачи определять тяговые силы F_x и F_y магнитопровода модуля с учетом искажений поля, вносимых самим движущимся телом; для соответствующих расчетов тяговых характеристик модуля разработана программа на языке СИ.

4. Разработана гибридная модель, позволяющая с необходимой для инженерных разработок точностью, исследовать качественно и количественно динамические режимы работы многофункционального электромагнитного модуля; при этом обеспечивается высо-

кая степень доступности для исследований и наглядность получаемых результатов.

5. Разработана методика определения характеристик и параметров многофункционального электромагнитного модуля с бегущим магнитным полем, дающая возможность в перспективе проектировать и создавать новые электромагнитные модули с улучшенными тяговыми характеристиками.

6. Предложен эффективный способ частичной рекуперации энергии бегущего магнитного поля, обеспечивающий значительную экономию электроэнергии, питающей многофункциональный электромагнитный модуль (многомодульные электромагнитные системы с бегущим магнитным полем являются сравнительно мощными энергопотребителями).

7. Разработана математическая модель для оценки возможной эффективности рекуперации энергии бегущего магнитного поля, дающая возможность определить, какая часть энергии электромагнитного поля катушки модуля после переходного процесса передается в емкостной накопитель в виде электростатического поля, описать процесс формирования магнитного поля катушки многофункционального электромагнитного модуля, а также определить суммарное КПД преобразователя, как устройства.

8. Разработан алгоритм управления бегущим магнитным полем, позволяющий управлять перемещением ферромагнитных деталей по электромагнитной транспортной системе в случае замены этой системой транспортного ротора роторно-конвейерной линии.

9. Разработанная и изготовленная действующая электромагнитная транспортная система стружкоуборки для зубодолбежного станка модели 5А122 позволяет не только перемещать стружку в накопительную емкость, но и отделять ее от смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), что ведет к значительной экономии СОЖ. Пакеты с технической документацией по изготовлению электромагнитной транспортной системы с бегущим магнитным полем, в связи с полученными запросами, были направлены по более чем тридцати промышленным предприятиям (перечень в приложении 1).

Опубликованы следующие работы по теме диссертации:

1. Сытник А.А., Палкин Ю.А. Микропроцессорный блок управления бегущим магнитным полем // Ускорение научно-технического прогресса - решающий фактор роста производственного

потенциала страны: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Черкассы, 1987г. - С. 12-15.

2. Сытник А.А., Сасько И.Г. Микропроцессорная система управления ЭТС в РКЛ // Социально-экономические проблемы в условиях перехода на новый хозяйственный механизм: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Черкассы, 1988г. - С. 28-31.

3. Кочкарев Ю.А., Сытник А.А. Полунатурное моделирование электромагнитных транспортных систем на основе бегущего магнитного поля // Техническое и программное обеспечение комплексов полунатурного моделирования: Тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конф. - Гродно, 1988г. - С. 128-134.

4. Кочкарев Ю.А., Сытник А.А. Электромагнитная транспортная система (ЭТС) стружкоудаления для зубодолбежных станков // Социально-экономические и научно-технические проблемы в условиях перехода на новый хозяйственный механизм: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Черкассы, 1989г. - С. 35-39.

5. Кочкарев Ю.А., Сытник А.А. Математическое моделирование электромагнитных модулей в межоперационных производственных транспортных системах (МПТС) // Математическое моделирование в энергетике: Тез. докл. Всесоюзной науч.-техн. конф. - Киев, 1990г. - С. 156-162.

6. Кочкарев Ю.А., Сытник А.А., Бондаренко С.А. Электромагнитная система стружкоуборки и очистки смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) с помощью бегущего магнитного поля // Социально-экономические и научно-технические проблемы развития народного хозяйства: Тез. докл. науч.-техн. конф. - Черкассы, 1990г. - С. 28-32.

7. Сытник А.А., Тимченко А.А. Математическое моделирование и оптимизация систем управления бегущим магнитным полем в электромагнитных транспортных системах // Контроль и управление в технических системах (КУТС-93): Тез. докл. Международной науч.-техн. конф. стран СНГ - Винница, Украина, 1993г. - С. 162-165.

8. Сытник А.А., Тимченко А.А., Даник В.А. Межоперационные транспортные устройства на основе бегущего магнитного поля // Сборник статей аспирантов и соискателей ЧИТИ - Черкассы 1994г. - С. 205-210.

9. Сытник А.А., Олейник Г.Т., Даник В.А. Исследование возможности экономии энергии бегущего магнитного поля в МПТС

// Сборник статей аспирантов и соискателей ЧИТИ - Черкассы 1995г. - С. 117-125.

10. Математическое и компьютерное моделирование многофункционального электромагнитного модуля с бегущим магнитным полем / А. А. Сьтник // Электрон. моделирование. -1997. -Т. 19. №1.

Личный вклад автора. [1]- основные принципы эффективного управления бегущим магнитным полем; [2]- алгоритм управления БМП в случае замены транспортного ротора роторно-конвейерной линии многомодульной электромагнитной системой; [3]- полунатурная модель МЭС, реализованная с помощью универсального программируемого микроконтроллера "Электроника MC2702"; [4]- предложен способ стружкоуборки с помощью бегущего магнитного поля для зубодолбежных станков модели 5A122; [5]- алгоритм и методика расчета магнитной системы многофункционального электромагнитного модуля; [6]- способ перемещения ферромагнитной стружки и очистки смазочно-охлаждающей жидкости с помощью БМП; [7]- математическая модель и компьютерное моделирование процессов в многофункциональном электромагнитном модуле; [8]- предложен способ применения БМП для межоперационных систем перемещения; [9]- исследованы основные возможности рекуперации энергии бегущего магнитного поля в МЭС; [10]- математическая модель многофункционального электромагнитного модуля с бегущим магнитным полем.

ABSTRACT

Sytnik A.A. Multimodular electromagnetic systems with running magnetic field.

The dissertation on reception of scientific degree of candidate of technical sciences on specialities 05.09.05.- "Theoretical electrical engineering". Institute of simulation problems in Power Engeneering of the National Academy of Sciences of the Ukraine, Kiev, 1997.

The results of scientific works wich contain theoretical and experimental investigation of multimodular electromagnetic systems with running magnetic field for displacement of fine dispersive ferromagnetic bodies are represented. There were worked out the algorithms and the methods of the magnetic system calculation and tractive characteristics of polyfunctional electromagnetic modulus, which is an elementary cell for creation of polyfunctional electromagnetic

АНОТАЦІЯ

Ситник О.О. Багатомодульна електромагнітна система з біжучим магнітним полем.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.05. - Теоретична електротехніка. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України, м.Київ, 1997.

Захищаються результати наукових праць, які містять теоретичні та експериментальні дослідження багатомодульних електромагнітних систем з біжучим магнітним полем для переміщення дрібнодисперсних феромагнітних тіл. Розроблені алгоритми та методики розрахунку магнітної системи і тягових характеристик багатофункціонального електромагнітного модуля, який використовується як елементарна комірка для створення багатомодульних електромагнітних систем.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Біжуче магнітне поле, багатомодульна електромагнітна система, багатофункціональний електромагнітний модуль, рекуперація енергії.



441322

