



ВЕСТНИК
НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
“ХПИ”

41'2009

Харьков

ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов
Тематический выпуск
"Проблемы совершенствования
электрических машин и аппаратов"

41'2009

Издание основано Национальным техническим университетом
"Харьковский политехнический институт" в 2001 году

Государственное издание
Свидетельство Госкомитета по информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2 июля 2001 года

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Председатель

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц.

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.
Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.
Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.
Л.М. Бесов, д-р техн. наук, проф.
Б.Т. Бойко, д-р техн. наук, проф.
Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.
М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.
А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.
В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.
И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.
В.В. Епифанов, д-р техн. наук, проф.
Ю.И. Зайцев, д-р техн. наук, проф.
О.П. Качанов, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.
С.И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.
В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.
В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.
Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.
В.С. Лупиков, д-р техн. наук, проф.
О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.
В.И. Николаенко, д-р техн. наук, проф.
П.Г. Перерва, д-р техн. наук, проф.
В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.
М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.
Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.
Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.
Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ответственный редактор:

В.С. ЛУПИКОВ, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь:

А.Г. СЕРЕДА, канд. техн. наук, доц.

В.Ф. Боллох, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.
В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.
Б.В. Клименко, д-р техн. наук, проф.
В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.
В.И. Милых, д-р техн. наук, проф.
В.П. Себко, д-р техн. наук, проф.
Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Адрес редколлегии: 61002, Харьков,
ул. Фрунзе, 21. НТУ "ХПИ".
Каф. ЭА. Тел. (057) 707-68-64

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2009. – № 41. – 170 с.

Випуск приурочений до Міжнародного симпозиуму "Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика" (SIEMA'2009), 21 – 23 жовтня 2009 року, Харків, НТУ "ХПІ". В збірнику висвітлюються проблеми удосконалення електричних машин і апаратів, досягнення вчених, вузів і підприємств України та інших країн, які прийняли участь у симпозиумі. Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів.

Выпуск приурочен к Международному симпозиуму "Проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика" (SIEMA'2009), 21 – 23 октября 2009 года, Харьков, НТУ "ХПИ". В сборнике освещаются проблемы совершенствования электрических машин и аппаратов, достижения ученых, вузов и предприятий Украины и других стран, которые приняли участие в симпозиуме.

Для научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, специалистов.

**Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ";
Протокол № 12 від 04.12.2009**

© Національний технічний університет "ХПІ", 2009

УДК 621.34

Н.В. АНИЩЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПІ", Харків

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВИДА КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА ДИНАМИКУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С КОМБИНИРОВАННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Розглянуто особливості вибору передаточних функцій корегуючих пристроїв для забезпечення компенсації величини похибки системи регулювання швидкості при наявності збурюючих дій. Виконано моделювання електропривода стабілізації швидкості з непрямым виміром моменту (струму) статичного навантаження.

Рассмотрены особенности выбора передаточных функций корректирующих устройств для обеспечения компенсации величины ошибки системы регулирования скорости при наличии возмущающих воздействий. Выполнено моделирование электропривода стабилизации скорости с косвенным измерением момента (тока) статической нагрузки.

Введение. При построении высокоточных электроприводов (например, электропривод главного движения металлорежущих станков) решается задача минимизации статической и динамической ошибок регулирования. В теории автоматического управления применяют следующие способы уменьшения величины ошибки [1]:

- увеличение коэффициента усиления разомкнутой системы;
- повышение порядка астатизма системы регулирования;
- применение комбинированного управления, как по управляющему, так и по возмущающему воздействию.

Цель работы – анализ динамических характеристик электропривода с комбинированным управлением при косвенном измерении возмущающего воздействия.

Общие положения. Электропривод главного движения металлорежущих станков в основном представляет собой систему подчиненного регулирования скорости с внутренним контуром регулирования тока. При этом регуляторы тока и скорости представляют собой пропорционально-интегральные регуляторы. Контур регулирования скорости настраивается на стандартный симметричный оптимум с заданными показателями качества. Величина установившейся ошибки по возмущающему воздействию равна нулю.

Список джерел інформації: 1. *Гаврилюк Р.Б.* Багатофазні симетричні обмотки машин змінного струму з різними секціями / Р.Б. Гаврилюк; Вісн. Львів. ордену на Леніна політехн. ін-ту - Регулювання електричних машин і передача електричної енергії на відстань // - Львів: - Видавниче об'єднання "Вища школа". Видавн. при Львів. Держ. ун-ті, 1974. - Вип. 83. - С. 5-8. 2. *Гаврилюк Р.Б.* Схеми симетричних трифазних двошарових обмоток з перемиканням кількості пар полюсів у співвідношенні 1:2 (кількість пар полюсів $z=24$) // Промелектро. - 2007. - № 5 - С. 21-28. 3. *Губенко Т.П.* Симметричные схемы обмоток машин переменного тока: асинхронные микромашины. Материалы межв. научно-техн. конф. по электрическим асинхронным микромашинам / Губенко Т.П., Гаврилюк Р.Б., Снышко Е.А. // - Каунас, 1969. - С. 145-150. 4. *Гаврилюк Р.Б.* Синтез и анализ симметричных обмоток машин переменного тока: дис. ... канд. техн. наук. 05.09.01 Гаврилюк Роман Богданович. - Львів, 1970. - 184 с. 5. *Гаврилюк Р.Б.* Множество неэквивалентных симметричных токовых слоев машин переменного тока / Р.Б. Гаврилюк; изв. высш. учебн. завед. // Электромеханика. - 1989. - Т. 7. - С. 28 - 35. 6. *Гаврилюк Р.Б.* Множину структур схем обмоток електричних машин змінного струму / Роман Гаврилюк - Івано-Франківськ: Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка. - 2003. - 396 с. - ISBN 996-694-008-6. 7. *Брейн Н. Дж.* Теория перечисления Пойя / Н. Дж. де Брейн // Сб. статей под ред. Э. Бакенбаха. Прикладная комбинаторная математика. - М.: Мир, 1968. - С. 61-106. 8. Текстовые индексы симметричных схем обмоток электрических машин переменного тока / Р.Б. Гаврилюк // Электрик. - 2008. - № 1 - 2. - С. 12 - 14. 9. *Гаврилюк Р.Б.* Класи гармонік симетричних схем обмоток електричних машин змінного струму / Роман Гаврилюк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". - 2009. - № 637. - С.18 - 23. 10. *Гаврилюк Р.Б.* Схеми симетричних трифазних двошарових обмоток з перемиканням кількості пар полюсів у співвідношенні 1:2 (кількість пар полюсів $z = 24$) / Р.Б. Гаврилюк // Промелектро. - 2007. - № 5. - С. 21-28. 11. *Rajaraman K.C.* Design criteria for pole-changing windings / K.C. Rajaraman // Proc. IEE. - 1977. - V.124. - № 9. - P. 775-783.



Гаврилюк Роман Богданович. Доцент, кандидат технічних наук. Захистив диплом інженера, дисертацію кандидата технічних наук у Львівському політехнічному інституті за фахом електричні машини і апарати, відповідно в 1962 і 1971 рр. Доцент кафедри "Електропостачання та електрообладнання промислових підприємств" Івано-Франківського Національного технічного університету нафти і газу з 1979 р. Наукові інтереси пов'язані з проблемами створення та аналізу всіх можливих варіантів симетричних багатофазних схем обмоток електричних машин змінного струму, математичними макромоделями колекторних машин малої потужності та асинхронних двигунів, математичними об'єктами різної фізичної природи, питаннями покращення ефективності роботи асинхронних двигунів.

Надійшла до редколегії 21.10.2009

УДК 620.179.14

В.Я. ГАЛЬЧЕНКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф., ЛГМУ, Луганск
Д.Л. ОСТАПУЩЕНКО, аспірант, ЛГМУ, Луганск
Т.В. ВОРОБЬЄВА, преподаватель, ЛГМУ, Луганск

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЧИСЛЕННОГО АНАЛИЗА КОНФИГУРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ОБЪЕКТОВ С ДЕФЕКТАМИ СПЛОШНОСТИ ПРИ МАГНИТНОМ КОНТРОЛЕ

Проведен анализ особенностей решения задач численного исследования пространственных информационных магнитных полей ферромагнитных объектов с дефектами сплошности с учетом нелинейных характеристик материала при магнитном неразрушающем контроле. Выявленные особенности позволяют сделать вывод о большей сложности таких задач по сравнению с традиционными задачами электротехники.

Проведено аналіз особливостей розв'язання задач численного дослідження інформаційних магнітних полів ферромагнітних об'єктів з дефектами суцільності при магнітному неруйнівному контролі. Виявлені особливості дозволяють зробити висновок про більшу складність таких задач у порівнянні з традиційними задачами електротехніки.

Введение. При магнитном методе неразрушающего контроля решение задачи выбора вида, способа и режима намагничивания конкретного объекта сложной геометрической формы невозможно осуществить без исчерпывающей информации о конфигурации информационного магнитного поля в зоне контроля. Особенно ценной является информация о конфигурации поля при наличии дефектов сплошности различного вида, характерных для контролируемого изделия при различных условиях намагничивания. Выбор в пользу той или иной схемы намагничивания должен производиться исходя из соображений наилучшей выявляемости дефектов при ее использовании. Изготовление большого числа опытных образцов магнитных систем с целью дальнейшего их испытания путем экспериментального исследования топографии полей для изделий с различными дефектами не только может занять значительное время, но и является экономически нецелесообразным.

Важным инструментом, который может облегчить решение данной задачи является математическое моделирование. Анализ публикаций по данному вопросу показал, что создание как можно более адекватных математических моделей, позволяющих описать пространственную конфигурацию магнитного поля в различных случаях контроля, привлекает к себе внимание многих исследователей. Однако существующие на данный момент модели обладают значительной степенью идеализации, резко ограничивающей возможность их практического применения. Описанные в работах ряда авторов аналитические модели поверхностных и подповерхностных дефектов сплошности построены в предположении бесконечных или полубесконечных размеров объекта контроля и не позволяют адекватно описать влияние на конфигурацию поля в зоне контроля его формы. При аналитических исследованиях попытки построения моделей для объектов контроля конечных размеров с дефектами ограниченной протяженности сталкиваются с непреодолимыми трудностями. Более перспективным представляется использование численных методов. Для построения численных моделей рядом исследователей был использован подход, основанный на нелинейных пространственных интегральных уравнениях. Этот метод позволяет проводить анализ топографии магнитного поля в расчетных областях с произвольной геометрией. За исключением некоторых простейших случаев исходное интегральное уравнение не имеет аналитического решения и для получения численного результата необходимо прибегнуть к различным аппроксимационным схемам, позволяющим свести континуальное уравнение к системе нелинейных уравнений с конечным числом неизвестных. При этом решение задачи приближенного описания формы объекта контроля определяет класс задач, для которых применима получаемая в результате численная модель.

Анализ моделей. Существующие в настоящее время численные модели имеют ряд существенных ограничений при описании геометрии объекта контроля, что сужает область их применения и ограничивает ее рядом простейших случаев. В серии работ [1-4] предложено программное обеспечение для решения прямой задачи магнитостатики и вычислительная технология его использования применительно к магнитному неразрушающему контролю объектов произвольной геометрии, основанное на интегральном уравнении вида

$$\vec{H}(Q) = -\frac{1}{4\pi} \text{grad}_Q \iiint_V \vec{M}(P) \cdot \text{grad}_P \frac{1}{r_{PQ}} dV_P + \vec{H}_0(Q),$$

где P и Q – соответственно точки истока и наблюдения, принадлежащие ферромагнитному объекту контроля V ; $\vec{r}_{PQ} = \vec{r}_Q - \vec{r}_P$ – вектор, направленный из точки P в точку Q ; r_{PQ} – модуль вектора \vec{r}_{PQ} ; \vec{H} – напряженность магнитного поля; \vec{M} – намагниченность ферромагнетика; \vec{H}_0 – напряженность магнитного поля, создаваемого намагничивающим устройством в виде системы проводников с током, электромагнитов или постоянных магнитов, определяемая в соответствии с математической моделью для каждого конкретного его типа. Уравнение решается совместно с дополнительной зависимостью, описывающей магнитные свойства вещества

$$\vec{M} = F(\vec{H}).$$

Специфика области применения резко разграничивает возникающие в ней задачи и сходные задачи, возникающие в электротехнике. Контроль в приложенных полях, как правило, ведется при намагничивании объекта до состояния, при котором ферромагнитное вещество близко к насыщению. При численном моделировании этот факт приводит к трудностям построения глобально сходящихся итерационных процессов решения систем нелинейных уравнений. К тому же размер дефектов значительно меньше размера самого контролируемого изделия.

Для построения дискретной геометрической модели в разработанном авторами программном обеспечении используются генераторы адаптивной сети дискретных элементов, состоящей из тетраэдров. Использование адаптивных сетей тетраэдров позволяет значительно повысить аппроксимационные возможности используемого подхода. Однако относительно малый размер дефектов и требования к более точному описанию формы дефектных объектов обуславливают необходимость использования более густых сетей, что приводит к большому числу неизвестных в системе нелинейных уравнений. Кроме того, необходимость использования нерегулярных сетей предопределена также тем фактом, что регистрация полей дефектов первичными преобразователями осуществляется в непосредственной близости от поверхности объекта на расстоянии 0,1 – 5 мм. Это в свою очередь требует расчета со-

ставляющих информационного магнитного поля в прилежащих к поверхности объекта контрольных точках, а, следовательно, повышенным требованиям к числу элементов дискретизации.

Для решения систем нелинейных уравнений в [1, 4] с использованием метода Ньютона и комплекса мероприятий по улучшению его сходимости построена итерационная схема, сориентированная на задачи с большим числом неизвестных, которое в некоторых случаях может достигать 75000. Известно, что теорема Канторовича гарантирует лишь локальную сходимость метода Ньютона с начального приближения достаточно близкого к искомому решению.

Для обеспечения глобальной сходимости итерационного процесса предлагается комплексное использование метода продолжения по параметру и "демпфирования". Метод продолжения по параметру позволяет связать исходную задачу, со сходимостью итерационного процесса в которой возникли трудности, с задачей, в которой наблюдается глобальная сходимость, например, в предположении линейности магнитных характеристик ферромагнетиков. Последовательно решая задачу с постепенным изменением параметра и принимая результат предыдущего шага в качестве начального приближения последующего, удается получить решение исходной задачи. Использование "демпфирования" целесообразно на тех шагах итерационного процесса, когда вместо уменьшения нормы невязки системы наблюдается ее возрастание. Тогда делается неполный шаг метода Ньютона. При этом его величина подбирается исходя из условия минимизации невязки. Кроме того, итерационный процесс имеет смысл строить с учетом возможности перехода с прямой магнитной характеристики для описания нелинейных свойств ферромагнетика на обратную, что определяется положением рабочей точки на кривой намагничивания. На каждом шаге итерационного процесса решается система линейных уравнений большого порядка с плотно заполненной матрицей. Коэффициенты матрицы системы в силу большого числа неизвестных одновременно невозможно разместить в оперативной памяти компьютера. Поэтому решение линейных систем осуществляется с помощью специальной реализации метода последовательных исключений Гаусса с поблочной обработкой коэффициентов и сохранением промежуточных результатов на внешнем носителе компьютера, а также методов, основанных на проецировании на подпространства Крылова.

Все перечисленные особенности делают решение задачи численного анализа информационных магнитных полей объектов с дефектами специфической, что существенно отличает ее от традиционных задач электротехники и позволяет считать ее гораздо более сложной.

Выводы. Таким образом, разработанное информационное обеспечение и вычислительная технология его использования позволяют с единых методологических позиций решать широкий круг разнообразных пространственных задач теории магнитного неразрушающего контроля, таких как анализ полей поверхностных, подповерхностных дефектов сплошности, а также дефектов внутренней поверхности, что делает возможным осуществить рациональный выбор вида, способа и режимов намагничивания дефектного объекта контроля произвольной геометрической формы, руководствуясь условиями наилучшей выявляемости дефекта.

Список источников информации: 1. Гальченко В.Я., Остапуценко Д.Л. Численный анализ пространственной конфигурации магнитных полей объектов сложной геометрической формы с учетом нелинейных характеристик веществ. // Информационные технологии. – 2008. – № 8. – С. 43-49. 2. Гальченко В.Я., Остапуценко Д.Л., Воробьев М.А. Математическое моделирование процессов намагничивания ферромагнитных объектов контроля с произвольной геометрией в полях заданной пространственной конфигурации. // Дефектоскопия. – 2008. – №9. – С. 3-18. 3. Гальченко В.Я., Остапуценко Д.Л., Воробьев М.А. Компьютерный анализ конфигурации магнитных полей поверхностных дефектов сплошности конечных размеров в ферромагнитной пластине ограниченной протяженности методом пространственных интегральных уравнений. // Дефектоскопия. – 2009. – №3. – С. 56-66. 4. Гальченко В.Я., Остапуценко Д.Л., Воробьев М.А. Компьютерный анализ конфигурации магнитных полей подповерхностных дефектов сплошности конечных размеров и произвольной формы в объектах контроля ограниченной протяженности методом пространственных интегральных уравнений. // Дефектоскопия. – 2009. – №5. – С. 60-71.

Поступила в редколлегию 6.10.2009

Chernyshov N.N., Shcherbak Je.L.

RISE OF SIGNAL BAUD RATE IN CABLE.

Methods of renewal impulse signals forms by filters and synthesis of the filters are discussed in the article in view of reproduction the form accuracy and mitigation of noises. Features of filters for renewal of code signals, date rate and realizations of the filters on the base of deconvolution analysis are made.

Index terms – impulse signals, reproduction the form, date rate, deconvolution analysis.

Yuferov V.B., Mufel E.V., Tkachov V.I., Sharuy S.V., Shapoval A.N.

ABOUT SOME FEATURES OF PLASMA DISCHARGES ABOVE THE WATER SURFACE.

The experimental setting allowing to get autonomous spherical plasma formation is created. Processes that occurs at the primary stage of discharge are investigated. Two possible scenarios of their development are described. Volt-ampere and spectral characteristics of plasmoids and photos of discharge development in time are presented.

Index terms – spherical plasma formation, plasma discharge, plasmoid, characteristics.

138

155

СОДЕРЖАНИЕ

Анищенко Н.В. Анализ влияния вида корректирующих устройств на динамику электропривода с комбинированным управлением.....3

Болюх В.Ф., Рассоха М.О. Імпульсні переривання струму індуктора електромеханічного імпульсного перетворювача.....8

Вареник Е.А., Кукулевский А.В., Горчаков В.А., Железняков А.В. Электродвигатели ЭКВК для привода угольных комбайнов16

Васьковский Ю.Н., Шумилов Ю.А., Штогрин А.В. Моделирование процесса усталостного разрушения зубцов крайних пакетов сердечника статора мощных турбогенераторов22

Гаврилюк Р.Б. Сучасні методи управління параметрами оптимізації двошарових багатофазних схем обмоток електричних машин змінного струму...29

Гальченко В.Я., Остапущенко Д.Л., Воробьева Т.В. Об особенностях решения задач численного анализа конфигурации информационных магнитных полей объектов с дефектами сплошности при магнитном контроле...43

Гетьман А.В., Зверев С.Г., Крамчанин Е.Г. О практическом определении пространственных гармоник магнитного поля технических объектов разнотипными системами.....48

Гурин А.Г., Гонтарь Ю.Г., Шейхи Абубакер, Ярмек О.Н. Электродинамический скважинный вибратор55

Друй О.С., Шарый С.В., Юферов В.Б., Швеиц М.О., Тихонов В.Ф. О воздействии электронных пучков с высоким энергосодержанием на металлические поверхности62

Дубовенко К.В. Влияние параметров электровзрывного размыкателя на характеристики электрического разряда в контуре с индуктивным накопителем энергии.....68

Егоров А.М., Юферов В.Б., Шарый С.В., Друй О.С., Ильичева В.О., Швеиц М.О., Ткачев В.И., Ольховская Т.И., Свичкарь А.С. Экспериментальная электромагнитная плазменная установка ДИС-1 для имитационного разделения отработанного ядерного топлива. предварительные результаты78

М'якінький О.В. Дослідження та випробування системи ручного відключення електромагнітного приводу для вакуумного відмикача середньої напруги91

Масленников А.М. Устройство для создания дискретно вращающегося магнитного поля.....99

Наний В.В., Дунев А.А., Юхимчук В.Д. Экспериментальные исследования двигателя с катящимся ротором103

Наний В.В., Егоров А.В., Мирошниченко А.Г. Особенности теплового расчета двигателя с катящимся ротором107

Наукове видання

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХП»**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск
«Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів»

№ 41'2009

Відповідальний за випуск *В. М. Луньова*
Науковий редактор *В. С. Лупіков*
Технічні редактори: *Н. В. Себякіна, І. С. Варшамова*

Обл.-вид. № 113-09

Підп. до друку 16.12.2009 р. Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Папір офісний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 9,5. Наклад 300 прим. 1-й з-д 1-30.
Зам. № 321. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ «ХП», 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21