

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Архиповой Е.В. «Моделирование втяжных броневых электромагнитов и разработка усовершенствованных методик их проектного расчета» по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты» на соискание ученой степени кандидата технических наук

На рассмотрение представлена рукопись диссертации объемом 228 стр. и автореферат на 24 стр. Диссертация содержит: введение, 5 глав, заключение (всего 152 стр.), 7 приложений и список литературы.

В первой главе (на 44стр.) проведен сравнительный анализ конструкций электромагнитов (ЭМ), в том числе втяжных броневых(ВБЭМ) и анализ методов их расчета.

На основе этого сделан обоснованный вывод о целесообразности совершенствования подхода к моделированию характеристик и проектированию ВБЭМ, состоящем в сочетании методов теории подобия и регрессионного анализа, заменяя физическое моделирование математическим с применением пакета программ расчета магнитных и тепловых характеристик ВБЭМ методами теории поля. В качестве таких программ выбран пакет FEMM. Предложено представлять исследуемые функции в обобщенной критериальной форме с целью эффективности их использования как при анализе, так и синтезе ЭМ. Рассмотрены критерии оптимизации, используемые при проектировании электромагнитных систем.

Во второй главе (на 41 стр.) на основе комплексного применения метода конечных элементов в программной среде FEMM, теории подобия и многофакторного эксперимента получены полиномиальные модели, определяющие функциональные зависимости потокосцепления, МДС и электромагнитной силы одно и

двухобмоточных ВБЭМ от размеров и магнитного состояния магнитной системы (МС). На основе этих моделей проведен анализ влияния ряда факторов на электромагнитные характеристики однообмоточного ВБЭМ и дано сравнение тяговых характеристик двухобмоточных ВБЭМ с аксиальным и коаксиальным расположением обмоток.

В третьей главе (на 13 стр.) на основе совместного применения программного пакета FEMM, теории подобия и планирования эксперимента получены полиномиальные модели тепловых параметров однообмоточного и двухобмоточных ВБЭМ в установившемся режиме, предназначенные для методик анализа и синтеза этих устройств. С помощью этих моделей проведены расчеты температурного поля ВБЭМ.

В четвертой главе (на 13 стр.) на основе совместного применения методов теории подобия и регрессионного анализа с использованием программной среды FEMM при расчете магнитного поля и метода Эйлера для решения уравнения электрической цепи обмотки получены полиномиальные математические модели динамических характеристик однообмоточного ВБЭМ. Полученные модели представлены в критериальной форме, учитывают тепловое состояние обмотки и влияние вихревых токов в магнитопроводе. Вязкость, гистерезис, остаточное намагничивание и вес якоря не учитываются. Проведена оценка влияния вихревых токов на динамические характеристики исследованных ВБЭМ.

В пятой главе (на 26 стр.) поведена оценка адекватности полученных моделей, предложена методика и алгоритм синтеза однообмоточного ВБЭМ постоянного напряжения длительного режима работы. Предложен алгоритм синтеза ВБЭМ на

минимальную потребляемую мощность при заданной тяговой характеристике. Проведены исследования приводного ВБЭМ серийного реле времени РВ-100, на основании которых даны рекомендации по уменьшению потребляемой мощности этого реле.

Список литературы содержит 188 наименований.

В автореферате диссертации даны сведения об актуальности и поставленным цели и задачах работы, о научной новизне и практической ценности, об основных положениях, выносимых на защиту, достоверности, апробации и публикации результатов работы. Представлено краткое содержание работы по главам. Приведен список основных публикаций соискателя по теме диссертации из 22 наименований, включая 5 в научных изданиях, рекомендованных ВАК.

Актуальность темы.

Втяжные броневые электромагниты широко используются в различных областях техники. Известны многие методики (как полевые, так и на основе теории цепей) расчета отдельных видов протекающих в ВБЭМ физических процессов при известных размерах, используемых материалов и окружающих условиях - поверочные расчеты. В гораздо меньшей степени разработаны методы проектирования таких электромагнитов (например, работы отечественных исследователей : Ф.Ф.Галтеева и А.В.Гордона , М.А.Любчика, Ю.М.Макарычева и С.Ю.Рыжова, Г.В.Могилевского, И.И.Пеккера и др.). Однако, во многих случаях, известные методы они не обеспечивают высокую точность из-за допущений и неопределенностей по выбору ряда коэффициентов, не направлены на решение оптимизационных задач. Поэтому разработка моделей, алгоритмов и программ, решающих задачи синтеза ВБЭМ (в том числе оптимизационных) с учетом тепловых, электромагнитных и механических процессов, с приемлемой для промышленности точностью и не требующих большого времени

для их реализации, является проблемной, а тема рассматриваемой работы актуальной.

Научная новизна

Основным в новизне работы является рациональный подход к достижению поставленной цели расчета и проектирования ВБЭМ - комплексном использовании методов подобия, регрессионного анализа и методов теории поля. На основе такого подхода разработан ряд оригинальных математических моделей, описывающих статические и динамические процессы в ВБЭМ.

В частности, , в отличие от известных подходов, это дало возможность непосредственно определять функциональную связь статических электромагнитных характеристик ВБЭМ с их геометрическими размерами, магнитным состоянием ферромагнитных элементов и размещением обмоток в катушке в двухобмоточном варианте исполнения.

Новизна разработанных математических моделей теплового состояния ВБЭМ заключается в определении функциональной связи максимальной и среднеобъемной температур с геометрическими размерами, температурой окружающей среды и размещением обмоток внутри корпуса.

Разработан алгоритм расчета динамического процесса срабатывания ВБЭМ, отличающийся получением в обобщенном (критериальном) виде математических моделей динамических параметров срабатывания. Аналогичный подход известен при решении задачи динамики герконового реле, но применительно к анализу динамики ВБЭМ он оригинален.

Практическая ценность

Разработанные обобщенные математические модели, методики и алгоритмы и их компьютерная реализация позволяют

анализировать электромагнитные характеристики а также проектировать ВБЭМ.

Предложенный алгоритм расчета динамики срабатывания ВБЭМ дает возможность оценивать влияние на его характеристики геометрических размеров, магнитного состояния ферромагнитных элементов и нагрева обмотки.

Даны рекомендации по уменьшению потребляемой мощности реле РВ-100 производства ЗАО «ЧЭАЗ».

Результаты работы использованы при исследовании динамических характеристик и расчете основных параметров максимальных электромагнитных расцепителей автоматического модульного выключателя серии ВМ11, а также при проведении НИР «Разработка и исследование ресурсо- и энергосберегающих приводов электрических аппаратов», выполненной в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации.

Полученные результаты используются в учебном процессе на кафедре электрических и электронных аппаратов ЧГУ им. И.Н.Ульянова при подготовке бакалавров и магистров.

Достоверность результатов обусловлена корректным использованием методов математического анализа физических процессов, теории подобия и факторного эксперимента и подтверждается небольшим расхождением результатов математического моделирования и экспериментальных исследований, проведенных соискателем, а также изложенных в публикациях других авторов.

Замечания по содержанию работы

1. Вызывает сомнение выражение (1.6).
2. Стр.42.Непонятно, почему реализация методов расчета с

использованием уравнений теории поля «для электромагнитов возможна лишь для относительно простых случаев их конструкции при достаточно грубой дискретизации поля»?

3.Стр.44. Фраза «При движении якоря происходит уменьшение величины воздушного зазора и деформация конечно- элементной сетки этого участка расчетной области» Почему деформация только этого участка? Она происходит во всем пространстве, только в разной степени.

4.Стр.48. Не пояснено, что это за величина π_2^3 ?

5.Стр.49-50. Нет обоснования, что для коаксиально-концентрических обмоток с достаточной для практики точностью применимо допущение, что эквивалентный вторичный контур, заменяющий контуры вихревых токов в магнитопроводе, сцеплен с тем же потоком, что и намагничивающая обмотка. А как же рассеяние потоков?

6.Стр.64.Нет обоснования целесообразности «поддерживать высоту стопа неизменной для выявления влияния высоты обмотки на силу тяги».

7.Стр.66.Нет обоснования принятия неизменными диаметра провода и числа витков обмотки при изменении размеров последней в процессе моделирования электромагнитных характеристик втяжного электромагнита в статическом режиме.

8.Рис.2.16-2.21.Нет сравнительного анализа полученных зависимостей для однообмоточной и двухобмоточных катушек.

9.Рис.2.22-24. Нет анализа зависимостей на этих рисунках, кроме P^* и Ψ при $\delta = 1$ мм.

10.Стр.99. Объемная плотность мощности определяется не только приложенным к катушке напряжением, но и расположением единицы объема внутри нее, т.к. температура внутри объема катушки разная.

11. Стр. 100. Нет обоснования принятия степени черноты внешней поверхности равной 0,5.

12. Стр. 111. Непонятно, как получены критерии подобия π_{54} и π_{56} в (4.1) из критериев выражения (1.9). Не пояснено, что такое τ_n в (4.1). Индексы при силах в (4.1) не соответствуют индексам в (1.9).

13. Стр. 118-119. Почему на рис. 4.3 есть изгиб в зависимости скорости от времени при $t \approx 0,06с$ (момент замыкания контактов), а в зависимостях тока от времени (рис. 4.2) и электромагнитной силы (рис. 4.3) его нет?

14. Конец стр. 127 и Приложение Г. Не стоило приводить в диссертационной работе этот материал из-за нереальности значений магнитной индукции (до 4.29Тл) и, соответственно, значений электромагнитной силы. Тем более, что этот материал ничего не дополняет к новизне и полезности работы.

15. Стр. 132 и Приложение Д. Нет сравнения результатов расчета по методике синтеза ВБЭМ и эксперимента.

16. Стр. 139. Нет обоснования, что при оценке динамических параметров максимального токового расцепителя модульного автоматического выключателя можно пренебречь вихревыми токами в ферромагнитных элементах.

Замечания по оформлению работы

1. Отсутствует перечень используемых обозначений и их определений, что в ряде случаев затрудняет ознакомление с работой.

2. Есть некоторые синтаксические неточности.

3. Некоторые рисунки (например, рис. 1.4, 1.5, 1.6), кроме красочности, не дают никакой дополнительной информации.

4. Во многих местах текста, где понимается цифровое выражение физической величины вместо слова «величина» следовало использовать «значение».

Несмотря на отмеченные замечания, в целом диссертационная работа Архиповой Е.В. является законченным научно-квалификационным трудом, содержащим совокупность новых научных результатов и положений, направленных на решение задач, имеющих существенное значение для электромеханики и электрических аппаратов. Работа имеет внутреннее единство, выполнена автором на высоком уровне, свидетельствует о личном вкладе автора в науку и практику. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Автореферат полностью отражает содержание диссертаций.

Диссертационная работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Архипова Елена Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты».

Официальный оппонент

доктор технических наук,

Заслуженный деятель науки Российской Федерации,

профессор кафедры электрических и электронных аппаратов ФГБУ ВПО «Национальный исследовательский университет Московский энергетический институт»



(Шоффа Вадим Николаевич)

04.12.2014

Адрес: 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д14

Тел. (495) 362-56-50; (496) 362-78-35.

shoffavn@mail.ru

Подпись профессора Шоффы Вадима Николаевича удостоверяю

Начальник управления кадров НИУ МЭИ



(Баранова Е.Ю)