

ОТЗЫВ

официального оппонента Сускина Виктора Васильевича
на диссертационную работу Тамьяровой Майи Владиславовны
«Повышение эффективности автоматизированного проектирования
коллекторных электромашин на основе параметрически генерируемых
моделей магнитного поля»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования
(электротехника, энергетика)

На отзыв представлены:

- диссертация общим объемом 145 страниц, включающая введение, 4 главы, заключение, список литературы из 118 наименований, 2 приложений; содержит 61 иллюстрацию;
- автореферат диссертации на 20 страницах с характеристикой работы и кратким изложением содержания полученных результатов;
- список публикаций по теме диссертации, включающий 21 наименование, в том числе 4 - в рецензируемых журналах из списка ВАК и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

1. Актуальность темы научных исследований.

Несмотря на постоянную критику конструкции коллекторных машин (КМ) или машин постоянного тока (МПТ), они остаются востребованными из-за своих высоких регулировочных характеристик и широких возможностей использования их в качестве тяговых двигателей высокой мощности, кроме того развитие мобильных устройств (телеметрических, робототехнических, авиационных и т.п.) только увеличивает востребованность в производстве и, как следствие, в проектировании КМ, несмотря на наличие «узкого» места – коллектора.

Использование коллекторных машин в мобильных устройствах и специальном оборудовании требует от проектировщика не только соблюдения паспортных данных по электротехническим параметрам (ток, скорость и т.п.), но и накладывает ограничения на внешние параметры электрической машины (усеченная спинка статора, нетиповые элементы конструкции и т.п.), что в свою очередь позволяет, при сохранении функциональных показателей КМ, добиться значительной экономии активных материалов и упростить производство, транспортировку и эксплуатацию машин.

На основании вышесказанного можно утверждать, что работа Тамьяровой М.В. является актуальной и востребованной.

Кроме того, в диссертационной работе автором предлагается подсистема динамического моделирования КМ, что увеличивает научную и практическую значимость работы соискателя.

2. Содержание диссертационной работы

В первой главе автором проведен обстоятельный и разносторонний анализ современного состояния САПР электрических машин с учетом востребованности производством. Проанализированы существующие научные подходы к методам, используемым в САПР на основе полевых и цепных моделей КМ.

Сделан вывод, что несмотря на широкий спектр имеющихся на рынке САПР КМ многие из них имеют излишний функционал и «тяжеловесную» внутреннюю архитектуру, и самое главное, для мелкосерийного и штучного производства небольшими проектирующими и производственными организациями, – высокая стоимость программных продуктов. В частности, в области электромеханики особую популярность в России приобрели такие системы инженерного анализа (САЕ), как ANSYS Maxwell, COMSOL Multiphysics, ElCut.

Представляемый автором комплексный программный продукт САПР КМ лишен указанных недостатков и, кроме того, обладает гибкой, открытой структурой программного кода, позволяющего учесть и перестроится под нужды инженера-проектировщика. При этом особо ценным является сохранение необходимой точности инженерных расчетов при значительном увеличении быстродействия при проектировании и проведении имитационных экспериментов, включая динамические режимы КМ

Предлагаемый автором САПР является результатом многоуровневой интеграции свободно распространяемых (что снижает затраты на программных комплекс) или лицензионных (затраты могут быть изменены в зависимости от финансовых возможностей предприятия) программных продуктов, таких как табличный процессор MSExcel, пакет компьютерной математики MatLab или его свободно распространяемый аналог SciLab, а также со свободно распространяемыми библиотеками расчета физических полей, такими как EMLib (разработка ИГЭУ).

Так, библиотека EMLib представляет собой DLL, поставляющую в среду программирования Visual Basic for Excel, функции для построения и анализа результатов расчета квазистационарного магнитного поля электрических машин в нелинейной 2D-постановке.

Особое внимание в работе уделено создание подсистемы моделирования динамических режимов КМ, что приобретает особое значение при проектировании не только самой КМ, но и электроприводов и их применением.

Во второй главе представлены разработанные модели, позволяющие провести синтез КМ, построенных с применением оптимизационного математического аппарата. Основным элементом этой подсистемы является модуль параметрического генератора конечно-элементной модели (ПГ КЭМ) магнитного поля КМ по заданному набору входных параметров, определяющих конструктивное исполнение машины, а также модуль расчета данной модели, передающий результаты расчета в модуль формирования целевой функции.

Поиск оптимальных параметров осуществляется посредством, разработанного в ИГЭУ VBA-макроса, использующего в своей основе генетический алгоритм, позволяющий обеспечить поиск глобального минимума целевой функции с достаточной точностью.

Каждый шаг оптимизации сопровождается необходимыми пересчетами модели на основе параметрического генератора конечно-элементной модели коллекторной машины, с применением широкого набора исполнений индуктора КМ, позволяющим провести структурно-параметрическую оптимизацию КМ.

Функциональные элементы модели сопрягаются друг с другом посредством интерфейсных точек, обеспечивающих целостное представление модели и многообразие сочленения фрагментов с применением разработанного параметрического генератора, включая типовые и нетиповые элементы конструкции КМ, что является отличительной особенностью предлагаемой САПР по сравнению с ANSYS Maxwell RMxprt.

Кроме того, автором выполнена апробация оптимизационного аппарата на примере конструкции неявлнополюсной КМ серии 4П. Получен вариант машины с усечением спинки статора и неравномерными пазами, дающий 23% экономии электротехнической стали.

В третьей главе представлены результаты проведения на основе разработанной автором методики последовательного построения и анализа полевых динамических моделей КМ с применением вышеуказанных программных продуктов. Сделан вывод о возможности применения разработанного пакеты для применения его не только при проектировании отдельных КМ, в том числе нетиповых конструкций, но и анализ динамических показателей электроприводов и применением спроектированных КМ.

В четвертой главе изложены результаты разработки методики анализа и синтеза КМ на основе разработанных моделей, позволяющих проводить структурно-параметрическую оптимизацию КМ с использование ПГ КЭМ.

Методика включает в себя следующие основные этапы:

1. Выбор аналога или его расчет по инженерной методике.
2. Построение КЭ-модели аналога (базовая модель).
3. Анализ вариантов конструкции КМ, на основе имеющегося опыта.
4. Структурно-параметрическая оптимизация КМ.
5. Расчет статических характеристик КМ на полевой модели.
6. Обучение ПДМ КМ на модели магнитного поля, для получения вариантов конструкционных особенностей КМ.
7. Исследование обученной ПДМ КМ в различных режимах работы, анализ результатов, выявление недостатков конструкции, совершенствование конструкции, корректировка КЭ-модели с учетом полученных результатов, повторное обучение и исследование ПДМ.

Апробация методики оптимизации КМ выполнена автором на примере электрической машины серии 4П80.

В результате оптимизации получен вариант, дающий 39,4% экономии электротехнической стали по сравнению с аналогом и 34,9% экономии меди в обмотках статора. При этом сохраняются паспортные характеристики машины.

Таким образом, разработанная методика и разработанные модели позволили осуществить синтез и анализ КМ типовой и нетиповой конструкций. Данная методика может быть использована в качестве основной при проектировании КМ. Ее отличительной особенностью является наличие модуля оптимизации, обеспечивающего практическую значимость и большой запас научных изысканий для будущих работ

На защиту выносятся разработанная автором методика анализа и синтеза КМ нетиповой конструкции, параметрический генератор конечно-элементной модели магнитного поля КМ нетиповой конструкции, оптимизационная модель, позволяющая решать задачи структурно-параметрического синтеза КМ с использованием полевых расчетов.

3. Основные научные результаты и их новизна

К наиболее значимым научным результатам диссертационной работы Тамьяровой М.В. следует отнести следующее:

1. Разработана методика проектирования коллекторных электрических машин нетиповой конструкции, отличающаяся использованием параметрически генерируемых моделей магнитного поля как на стадии поиска оптимального варианта, так и на стадии поверочного расчета, осуществляемого в форме имитационного эксперимента.

2. Разработана оптимизационная модель коллекторной электрической машины на основе модели квазистационарного магнитного поля, отличающаяся способом построения целевой функции с использованием параметрического генератора полевой модели, позволяющего осуществлять программируемые деформации расчетной области, решая таким образом задачу структурно-параметрического синтеза коллекторной машины с использованием генетических алгоритмов.

3. Разработана методика построения полевых динамических моделей коллекторных электрических машин, в том числе нетиповой конструкции, отличающаяся быстродействием, характерным для цепных моделей при

сохранении точности полевых моделей, а также возможностью их интеграции в модели автоматизированного электропривода, реализуемые с помощью современных имитационных комплексов.

4. Практическая значимость результатов работы

Практическая ценность работы, на мой взгляд, состоит в следующем:

1. Разработан управляющий модуль для САПР КМ, позволяющий интегрировать в неё приложения и математические модели в рамках единой проектно-исследовательской среды. На данной основе разработана версия проектно-исследовательской среды КМ.
2. Разработана конечно-элементная модель параметрического генератора коллекторной машины нетиповой конструкции.
3. Разработано программное приложение оптимизации КМ, позволяющее формулировать и решать, с использованием генетических алгоритмов, задачи структурно-оптимизационного синтеза КМ.
4. На базе разработанных моделей и алгоритмов формирования и анализа полевой динамической модели КМ, предложен вариант математического обеспечения САПР. Совместно с техническим, методическим, информационным и, выше оформленным, математическим обеспечениями, создано новое приложение к САПР коллекторных машин.

5. Апробация и публикации

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на нескольких Международных и национальных научно-технических конференциях, а также научных семинарах различного ранга. По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе 4 статьи в журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Список публикаций свидетельствует о достаточной для кандидатской диссертации публичной презентации результатов исследований

6. Замечания и вопросы для дискуссии

1. Для применения в инженерной практике предлагаемых модулей САПР необходимо освоение языка VBA. Возникает вопрос о простоте и доступности применения этого языка в инженерной практике.
2. Для повышения быстродействия работы системы предлагается

построить КЭ-модель одного или нескольких полюсных делений КМ, однако, не уточняется в каких случаях проектирования достаточно одного полюсного деления, а в каких необходимо более одного полюсного деления.

3. Отсутствует количественная оценка временного горизонта обучения ПДМ КМ при отсутствии скоса пазов, при этом в работе указано что размерность вектора входных координат в расчетных блоках увеличивается.

4. На странице 103 работы представлен список варьируемых параметров при проектирование КМ. Имеется ли программная возможность расширения этого списка по желанию проектировщика?

5. При выборе метода многокритериальной оптимизации в работе недостаточно представлен обзор достоинств и недостатков других, аналогичных генетическому алгоритму методов, например, индексного метода и метода кривых Пеано.

Указанные замечания ни в коей мере не снижают уровень научной значимости теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в диссертационной работе. Целесообразно дальнейшее развитие данного направления исследований, в частности, обобщение класса электрических машин с целью разработки универсального варианта САПР, однако нельзя забывать, что данное направление может вызвать удорожание и ограничить доступность разработанной САПР, что указывает на необходимость детального исследования данного вопроса

7. Общее заключение по диссертации

С учетом представленной аналитической оценки можно сделать вывод: диссертационная работа Тамьяровой Майи Владиславовны является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задач, обеспечивающих проектирование и оптимизацию коллекторных машин типовой и нетиповой конструкций с применением расчета квазистационарного магнитного поля электрических машин.

Автореферат диссертации в полной мере освещает тематику диссертации, написан понятным и грамотным языком, материал изложен в логической последовательности, выводы хорошо аргументированы.

Тема диссертации соответствует специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (электротехника и энергетика).

Диссертационная работа отвечает требованиям ВАК России и заслуживает положительной оценки, а ее автор Тамьярова Майя Владиславовна достойна присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (электротехника и энергетика).

Официальный оппонент доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Системы автоматизированного проектирования вычислительных средств» ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина».

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1

Тел.: 8(953)739-74-48 E-mail: vsuskin@mail.ru

—
B.B. Сускин

Подпись Сускина В.В. заверяю

Ученый Секретарь Ученого Совета РГРТУ,
к.т.н., доцент

—
B.N. Пржегорлинский

