

На правах рукописи

ПОЛИХАЧ Евгений Александрович

**МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ МАЛЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Специальность: 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Автореферат

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

Уфа - 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» на кафедре электромеханики

Научный руководитель: доктор технических наук
Исмагилов Флюр Рашитович
проф., зав. кафедрой электромеханики
ГОУ ВПО УГАТУ

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Куляпин Владислав Максимилианович
проф., кафедры электрооборудования
летательных аппаратов и наземного транспорта
ГОУ ВПО УГАТУ

кандидат технических наук
Фаттахов Касым Мубинович
доцент кафедры электротехники и
электрооборудования предприятий
ГОУ ВПО УГНТУ

Ведущая организация: ФГУП «Уфимское агрегатное
производственное объединение»

Защита диссертации состоится 24 декабря 2009г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д–212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу:
450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке УГАТУ.

Автореферат разослан «23» ноября 2009 года.

Ученый секретарь диссертационного
совета д-р техн. наук, проф

Г. Н. Утляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. Развитие электротехнических комплексов ведет к увеличению мощности потребителей электрической энергии. Это требует повышения удельной мощности системы генерирования электроэнергии. Определение диапазона мощности электротехнических комплексов малых транспортных средств, достоинств и недостатков конструктивных форм, характера работы, применения различных материалов магнитов, является важным условием их дальнейшего совершенствования. Используемые в настоящее время в магнитоэлектрических генераторах (МЭГ) низкокоэрцитивные магниты не позволяют обеспечить возрастающую мощность при сохранении массогабаритных показателей. Применение в МЭГ высококоэрцитивных постоянных магнитов позволяет существенно повысить мощность системы генерирования и обеспечить возрастающую мощность потребителей при сохранении массогабаритных показателей. Особенность характеристик высококоэрцитивных магнитов требует не только новых конструктивных решений МЭГ, но и тщательного анализа их работы в системах генерирования электроэнергии электротехнических комплексов. Такие комплексы включают в свой состав двигатель внутреннего сгорания (ДВС), магнитоэлектрический генератор с маховичным ротором, микропроцессорный блок управления зажиганием, стабилизатор напряжения и магнитоэлектрический датчик.

В настоящее время не существует единого метода расчета магнитных систем с постоянными магнитами, вследствие наличия сложной зависимости параметров постоянных магнитов от формы. Существующие методы являются поверочными и не позволяют получить оптимальную магнитную систему. Развитие теории и создание новейших образцов МЭГ электротехнических комплексов малых транспортных средств имеет существенное значение для соответствующих отраслей знаний.

Основание на выполнения работы. Диссертационная работа выполнена в Уфимском государственном авиационном техническом университете по плану научно-исследовательских работ по темам АП-ЭМ-06-05-ХГ, АП-ЭМ-07-06-ХГ и АП-ЭМ-26-08-ХГ.

Целью диссертационной работы является исследование и обоснование применения магнитоэлектрического генератора высокой удельной мощности в составе электротехнического комплекса электроснабжения малых транспортных средств.

Для реализации указанной цели, необходимо решить следующие **основные задачи**:

1. Разработать математическую модель магнитоэлектрического генератора, отражающую электромагнитное взаимодействие силовой и слаботочной обмотки.

2. Моделирование магнитного поля магнитоэлектрического генератора и анализ взаимного влияния электромагнитных полей слаботочной и силовой обмотки, распределенных на различных полюсах, с учетом реальной геометрии магнитной системы, нелинейных свойств материалов магнитной цепи и геометрической конфигурации силовой и слаботочной обмотки.

3. Разработать, изготовить и провести экспериментальное исследование макетного образца магнитоэлектрического генератора высокой удельной мощности, являющегося составной частью электротехнического комплекса, подтверждающее адекватность разработанной математической модели.

Методы исследований. Теоретические исследования проведены с помощью, положений теории электромагнитного поля, линейных и нелинейных электрических цепей. При анализе электромагнитных процессов использовались численно-аналитические и численные методы решения нелинейных и кусочно-линейных дифференциальных уравнений. Использованы: комплекс программ для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов *ELCUT*, программа для выполнения и документирования инженерных и научных расчётов – *Mathcad*.

На защиту выносятся:

1. Обоснование эффективности применения магнитоэлектрического генератора в системах электроснабжения электротехнического комплекса и расчет магнитного поля, выполненный в комплексе программ для инженерного моделирования магнитного поля методом конечных элементов *ELCUT*.

2. Результаты моделирования магнитного поля магнитоэлектрического генератора с учетом геометрии магнитной системы, нелинейности характеристик материалов магнитной цепи, геометрической конфигурации обмоток, параметров электротехнического комплекса и внешней электрической цепи.

3. Разработанная математическая модель магнитоэлектрического генератора, описывающая электромагнитное взаимодействие силовой и слаботочной обмотки в установившемся режиме работы.

4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований эффективности магнитоэлектрического генератора, являющегося составной частью электротехнического комплекса, подтверждающие адекватность разработанной математической модели, позволяющие создать новые технические решения.

Научная новизна:

1. Предложена и обоснована новая математическая модель МЭГ, входящего в

состав электротехнического комплекса, отличающаяся от известных тем, что учитывает электромагнитное взаимодействие силовой и слаботочной обмотки.

2. Предложена и экспериментально подтверждена математическая модель магнитоэлектрического генератора входящего в состав электротехнического комплекса, отличающаяся от известных тем, что в качестве материала магнитов использован магнитоласт неодим-железо бор (*NeFeB*).

3. Впервые предложена математическая модель магнитоэлектрического генератора, отличающаяся от известных тем, что позволяет рассмотреть в комплексе работу силовой и слаботочной обмотки.

Практическую ценность имеют:

1. Результаты исследований магнитного поля позволяют создать МЭГ входящий в электротехнический комплекс, отличающийся тем, что обладает лучшими энергетическими показателями.

2. Выявленные в результате расчета и анализа магнитного поля, дополнительные преимущества, позволяющие оценить состояние магнитной системы и осуществить стабильное формирование параметров магнитоэлектрического генератора за счет более полного использования параметров постоянных магнитов.

3. Математическая модель магнитоэлектрического генератора, учитывающая электромагнитное взаимодействие силовой и слаботочной обмотки.

4. Результаты экспериментального исследования изготовленного макетного образца магнитоэлектрического генератора, являющегося составной частью электротехнического комплекса.

Достоверность научных положений, выводов и результатов работы, корректность принятых допущений подтверждена экспериментальными исследованиями макетного образца магнитоэлектрического генератора.

Реализация результатов работы. На Федеральном государственном унитарном предприятии (ФГУП) Уфимском агрегатном производственном объединении (УАПО) (г. Уфа) при модернизации выпускаемых электротехнических комплексов БСЗ – 4Б и разработке комплексов МПСЗ с высокой удельной мощностью. В учебном процессе на кафедре «Электромеханика» Уфимского государственного авиационного технического университета по направлению подготовки 140600, по программе магистерской подготовке «Электромеханические системы автономных объектов». Победитель молодежного научно-инновационного конкурса УМНИК 2009.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных, всероссийских, республиканских научно-

технических конференциях в том числе:

- на Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современная техника и технологии» г. Томск, 2007 г;
- Технические науки и современное производство г. Пекин (Китай), 2007 г;
- Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ 2009» г. Астрахань, 2009;
- Радиоэлектроника, электротехника и энергетика, двенадцатая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов г. Москва, МЭИ, 2006 г;
- Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ 2007» г. Астрахань, 2007 г;
- в журнале «Вестник УГАТУ», г. Уфа, 2008 г.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 17 печатных работ, в том числе 11 научных статей из которых 3 работы опубликованы в изданиях из перечня ВАК, 6 материалов научно - технических конференций.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Работа содержит 135 страниц машинописного текста и 144 наименования библиографических источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной научной работы, сформулирована цель и задачи исследования, приведены научные результаты, выносимые на защиту, указана их научная новизна и практическая ценность.

В первой главе проведен анализ электротехнических комплексов систем электроснабжения автономных объектов, методов расчета магнитных систем с постоянными магнитами. Обосновано применение магнитоэлектрических генераторов высокой удельной мощности в электротехнических комплексах.

Во второй главе разработана методика расчета параметров (МЭГ), входящего в состав электротехнического комплекса малых транспортных средств, с учетом реальной геометрии магнитной системы, нелинейности характеристик материалов магнитной цепи, с применением комплекса программ для инженерного моделирования электромагнитных задач методом конечных элементов *ELCUT*, при принятых следующих допущениях:

1. Магнитные поля магнитов ротора и обмоток статора плоскопараллельны и рассматриваются в поперечном сечении магнитной системы машины в координатах, жестко связанных с синхронно-вращающимся ротором.

2. Ферромагнитные сердечники ротора и статора представляются средами с нелинейными, но изотропными свойствами.

3. Магнитные поля ротора и статора, а также определяемое режимом нагрузки их результирующее магнитное поле, не выходят за пределы наружной поверхности ферромагнитного сердечника ротора.

4. Действительное токораспределение обмоток статора заменяется расчетным, с сохранением реальной геометрической конфигурации обмоток и реальных значений их намагничивающих сил.

Перед решением задачи расчета магнитного поля составлена расчетная геометрическая модель магнитной системы в поперечном сечении МЭГ, представленная на рис. 1, и содержащая пять однородных сред.

Граничные условия заданы исходя из физических условий существования магнитного поля на внешних границах расчетной области. При отдельном рассмотрении магнитных полей постоянных магнитов ротора (поле возбуждения в режиме холостого хода) и поля обмотки статора (поле продольной или поперечной реакции якоря) расчетная область, исходя из условий симметрии поля и магнитной системы, может быть ограничена областью половины полюсного деления машины, заключенной между осями d и q (рис. 1).

Магнитное поле МЭГ при заданном режиме нагрузки, рассчитано в плоскости всего поперечного сечения магнитной системы машины.

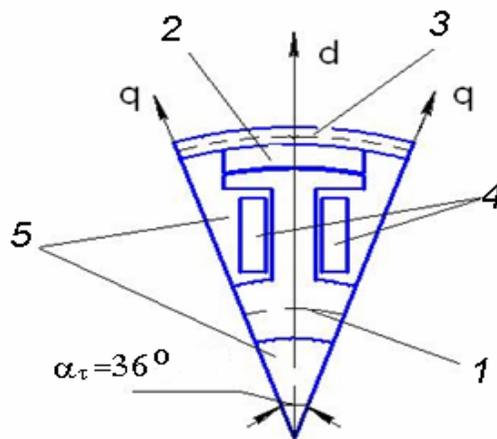


Рисунок 1 – Конфигурация магнитной системы МЭГ:

1 – области ферромагнитных сердечников ротора (3) и статора (1); 2 – области немагнитного зазора и межполюсного пространства (5); 3 – немагнитные области, занятые токами обмоток статора (4); 4 – области постоянных магнитов (2)

Расчет магнитного поля в поперечном сечении МЭГ осуществлен во всем диапазоне нагрузок. Расчетная геометрическая модель МЭГ показана на рис. 2 .

Методика расчета параметров обмоток МЭГ включает следующую последовательность действий:

1. Выбор типа и параметров задачи.
2. Составление расчетной области в *ELCUT*. (рис. 2).
3. Генерация сетки конечных элементов (рис.3).
4. Установка физических свойств, источников поля и граничных условий.
5. Решение задачи.
6. Анализ получение результатов.

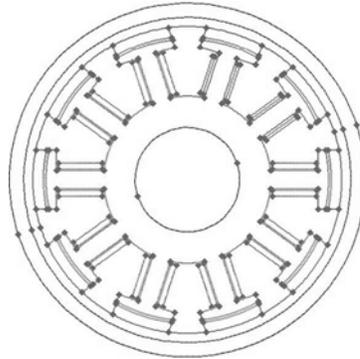


Рисунок 2 – Расчетная область МЭГ, составленная в *ELCUT*

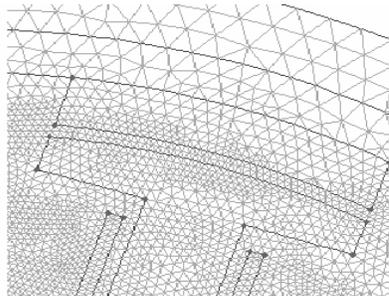


Рисунок 3 – Сетка конечных элементов

Расчет магнитного поля произведен для МЭГ со следующими геометрическими характеристиками и обмоточными данными (табл. 1).

Результат расчета магнитного поля для режима холостого хода отображен графически в виде распределения силовых линий магнитного поля в активной части МЭГ (рис. 4).

Таблица 1 – Геометрические характеристики и обмоточные данные МЭГ

Наименование характеристики	Обозначение
Внешний габаритный размер маховика	$D_{\text{габ}}=130$ мм
Внешний диаметр чаши ротора	$D_{\text{внеш}}=125$ мм
Внутренней диаметр чаши ротора	$D_{\text{внутр}}=118$ мм
Диаметр по расточке магнита	$D_{\text{м}}=110$ мм

Окончание таблицы 1

Наименование характеристики	Обозначение
Коэрцитивная сила магнита	$H_c=360000$ А/м
Остаточная индукция магнита	$B_p=0,52$ Тл
Материал магнита	Магнитопласт <i>NeFeB</i>
Ширина полюса магнита и полюсного наконечника статора	$b_m=b_{пн}=22,5$ мм
Ширина полюса статора	$B_{пст}=7$ мм
Внешний диаметр сердечника статора	$D_{ст}=108$ мм
Длина полюсных наконечников	$L_{пн}=35$ мм
Длина полюса	$L_{пс}=25$ мм
Число полюсов, занимаемых силовой обмоткой	$N_1=8$
Число полюсов, занимаемых слаботочной обмоткой	$N_2=2$
Суммарное число витков силовой обмотки	$W_{осв}=104$
Суммарное число витков слаботочной обмотки	$W_{зак}=4000$
Диаметр и марка провода, силовой обмотки	ПЭТВ 155 $D=1,2$ мм
Диаметр и марка провода, слаботочной обмотки	ПЭТВ 155 $D=0,1$ мм

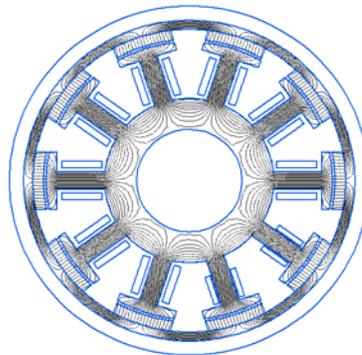


Рисунок 4 – Картина распределения силовых линий магнитного поля в поперечном сечении магнитной системы для режима холостого хода

Из анализа результатов расчета магнитного поля постоянных магнитов МЭГ определены потокосцепление силовой обмотки $\Psi_1=0,0252$ Вб и слаботочной обмотки $\Psi_2=0,97$ Вб.

Результаты моделирования магнитного поля силовой обмотки МЭГ приведены на рис. 5,а. Из анализа результатов расчета магнитного поля силовой обмотки МЭГ определены следующие параметры: индуктивность $L_1=0,000364$ Гн, взаимоиндуктивность со слаботочной обмоткой $M_{12}=0,00143$ Гн и взаимоиндуктивность с магнитом $L_{1m}=0,0003$ Гн.

Результаты моделирования магнитного поля слаботочной обмотки МЭГ приведены на рис. 5,б. Из анализа результатов расчета магнитного поля слаботочной обмотки МЭГ определены следующие параметры: индуктивность

$L_2=2,2$ Гн, взаимоиндуктивность с силовой обмоткой $M_{21}=0,000969$ Гн и взаимоиндуктивность с магнитом $L_{2m}=0,00045$ Гн.

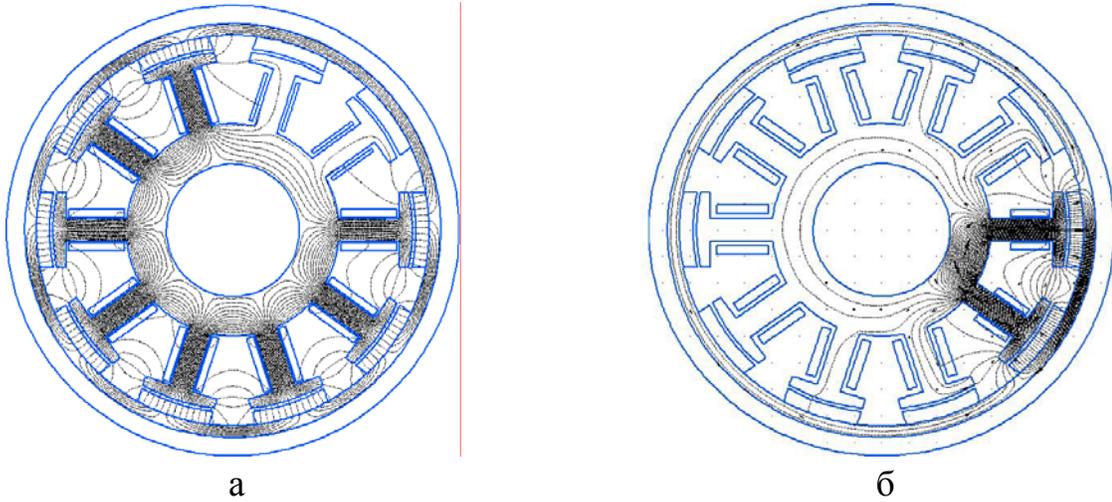


Рисунок 5 – Картина распределения силовых линий магнитного поля обмоток якоря:
а – силовой обмотки; б – слаботочной обмотки

Результатом моделирования и анализа магнитного поля проведенного во второй главе, являются рассчитанные параметры обмоток магнитоэлектрического генератора, которые можно использовать при создании математической модели отражающей электромагнитное взаимодействие силовой и слаботочной обмотки и позволяющей рассматривать в комплексе работу обмоток с учетом параметров внешней цепи.

Третья глава посвящена разработке математической модели магнитоэлектрического генератора. Разработанная математическая модель магнитоэлектрического генератора представляет собой систему уравнений равновесия напряжений обмоток генератора (1), включающая при записи параметры генератора определенные по результатам исследования магнитного поля во второй главе данной работы.

$$\begin{cases} i_1(r_1 + j\omega L_1 + Z_{n1}) + j\omega M_{21} \cdot i_2 = -j\omega \frac{\psi_{m1} - L_{1m}i_1}{\sqrt{2}} \\ i_2(r_2 + j\omega L_2 + Z_{n2}) + j\omega M_{12} \cdot i_1 = -j\omega \frac{\psi_{m2} - L_{2m}i_2}{\sqrt{2}} \end{cases}, \quad (1)$$

где i_1 – ток силовой обмотки; i_2 – ток слаботочной обмотки; r_1 – активное сопротивление силовой обмотки; Z_{n1} – сопротивление нагрузки силовой обмотки; L_1 – индуктивность силовой обмотки; ψ_{m1} – потокосцепление силовой обмотки в

режиме холостого хода; M_{12} – коэффициент взаимоиנדукции силовой обмотки со слаботочной обмоткой; r_2 – активное сопротивление слаботочной обмотки; Z_{n2} – сопротивление нагрузки слаботочной обмотки; L_2 – индуктивность слаботочной обмотки; ψ_{m2} – потокосцепление слаботочной обмотки при холостом ходе; M_{12} – коэффициент взаимоиנדукции слаботочной обмотки с силовой обмоткой; L_{1m} – взаимоиנדуктивность силовой обмотки с магнитом; L_{2m} – взаимоиנדуктивность слаботочной обмотки с магнитом.

Для решения система уравнений 1 преобразована к виду 2

$$\begin{cases} i_1 \left(r_1 + j\omega \left(L_1 - \frac{L_{1m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n1} \right) + i_2 \cdot j\omega M_{21} = -j\omega \frac{\psi_{m1}}{\sqrt{2}} \\ i_2 \left(r_2 + j\omega \left(L_2 - \frac{L_{2m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n2} \right) + i_1 \cdot j\omega M_{12} = -j\omega \frac{\psi_{m2}}{\sqrt{2}} \end{cases}, \quad (2)$$

и записано 2 в матричной форме 3

$$\begin{vmatrix} r_1 + j\omega \left(L_1 - \frac{L_{1m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n1} & j\omega M_{21} \\ j\omega M_{12} & r_2 + j\omega \left(L_2 - \frac{L_{2m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n2} \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} i_1 \\ i_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -j\omega \frac{\psi_{m1}}{\sqrt{2}} \\ -j\omega \frac{\psi_{m2}}{\sqrt{2}} \end{vmatrix} \quad (3)$$

Решение 3 относительно тока i_1 (4)

$$\begin{aligned} i_1 &= \frac{\begin{vmatrix} -j\omega \frac{\psi_{m1}}{\sqrt{2}} & j\omega M_{21} \\ -j\omega \frac{\psi_{m2}}{\sqrt{2}} & r_2 + j\omega \left(L_2 - \frac{L_{2m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n2} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} r_1 + j\omega \left(L_1 - \frac{L_{1m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n1} & j\omega M_{21} \\ j\omega M_{12} & r_2 + j\omega \left(L_2 - \frac{L_{2m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n2} \end{vmatrix}} = \\ &= \frac{-j\omega \frac{\psi_{m1}}{\sqrt{2}} \cdot \left(r_2 + j\omega \left(L_2 - \frac{L_{2m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n2} \right) - \left(-j\omega \frac{\psi_{m2}}{\sqrt{2}} j\omega M_{21} \right)}{\left(r_1 + j\omega \left(L_1 - \frac{L_{1m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n1} \right) \left(r_2 + j\omega \left(L_2 - \frac{L_{2m}}{\sqrt{2}} \right) + Z_{n2} \right) - j\omega M_{12} j\omega M_{21}} \end{aligned} \quad (4)$$

На основе полученного решения системы уравнений (1) для токов силовой обмотки i_1 (4) построены выходные характеристики МЭГ на рис. 6 – 8.

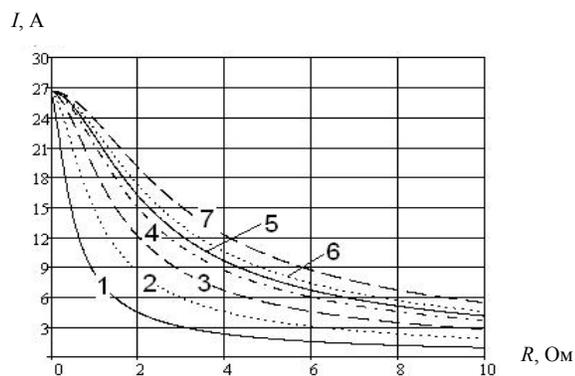


Рисунок 6 – Нагрузочные характеристики силовой обмотки:
 1-1000 об/мин; 2 – 2000 об/мин; 3 – 3000 об/мин; 4 – 4000 об/мин;
 5 – 4500 об/мин; 6 – 5000 об/мин; 7 – 6000 об/мин

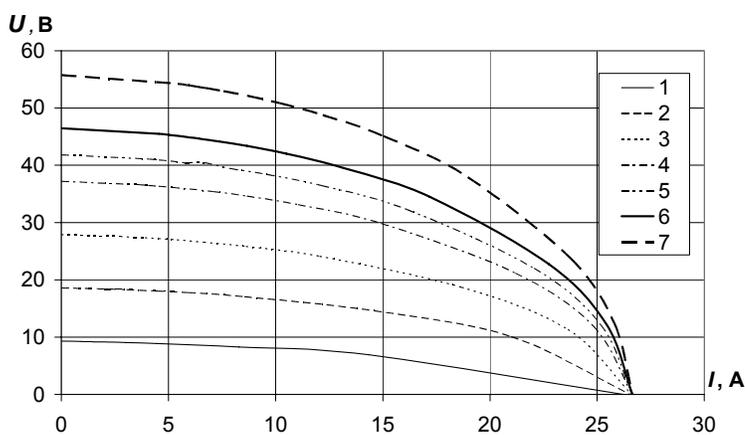


Рисунок 7 – Внешние характеристики силовой обмотки:
 1-1000 об/мин; 2 – 2000 об/мин; 3 – 3000 об/мин; 4 – 4000 об/мин;
 5 – 4500 об/мин; 6 – 5000 об/мин; 7 – 6000 об/мин

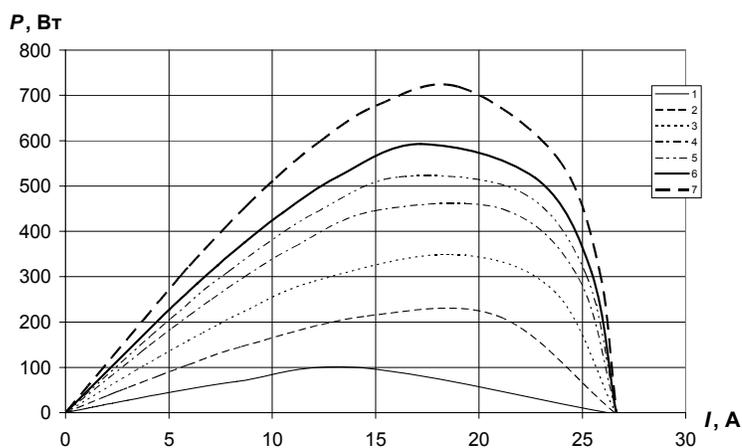


Рисунок 8 – Мощность силовой обмотки
 1-1000 об/мин; 2 – 2000 об/мин; 3 – 3000 об/мин; 4 – 4000 об/мин;
 5 – 4500 об/мин; 6 – 5000 об/мин; 7 – 6000 об/мин

Решения (3) относительно тока i_2 (4)

$$i_2 = \frac{\begin{vmatrix} r_1 + j\omega(L_1 - \frac{L_{1m}}{\sqrt{2}}) + Z_{n1} & -j\omega\frac{\psi_{m1}}{\sqrt{2}} \\ j\omega M_{12} & -j\omega\frac{\psi_{m2}}{\sqrt{2}} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} r_1 + j\omega(L_1 - \frac{L_{1m}}{\sqrt{2}}) + Z_{n1} & j\omega M_{21} \\ j\omega M_{12} & r_2 + j\omega(L_2 - \frac{L_{2m}}{\sqrt{2}}) + Z_{n2} \end{vmatrix}} = \frac{-j\omega\frac{\psi_{m2}}{\sqrt{2}} \cdot (r_1 + j\omega(L_1 - \frac{L_{1m}}{\sqrt{2}}) + Z_{n1}) - (-j\omega\frac{\psi_{m1}}{\sqrt{2}} j\omega M_{12})}{\left(r_1 + j\omega(L_1 - \frac{L_{1m}}{\sqrt{2}}) + Z_{n1}\right)\left(r_2 + j\omega(L_2 - \frac{L_{2m}}{\sqrt{2}}) + Z_{n2}\right) - j\omega M_{12} j\omega M_{21}} \quad (5)$$

На основе полученного решения системы уравнений (1) для токов слаботочной обмотки i_2 (5) построены выходные характеристики МЭГ на рис. 9 –12.

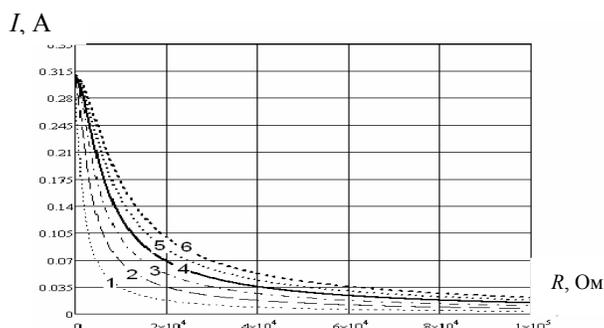


Рисунок 9 – Нагрузочная характеристика слаботочной обмотки:

1-1000 об/мин; 2 – 2000 об/мин; 3 – 3000 об/мин; 4 – 4000 об/мин;
5 – 5000 об/мин; 6 – 6000 об/мин

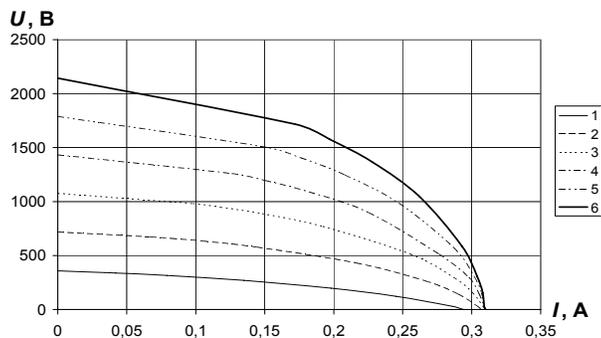


Рисунок 11 – Внешние характеристика слаботочной обмотки:

1-1000 об/мин; 2 – 2000 об/мин; 3 – 3000 об/мин; 4 – 4000 об/мин;
5 – 5000 об/мин; 6 – 6000 об/мин

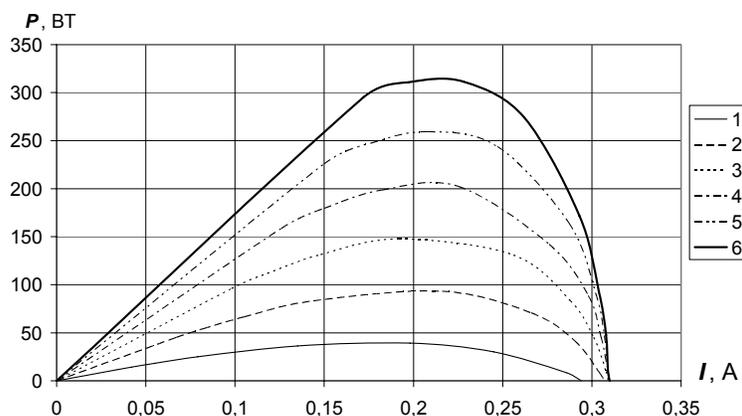


Рисунок 12 – Мощности слаботочной обмотки:
 1-1000 об/мин; 2 – 2000 об/мин; 3 – 3000 об/мин; 4 – 4000 об/мин;
 5 – 5000 об/мин; 6 – 6000 об/мин

Анализ нагрузочных характеристик (рис. 6 и 9) силовой и слаботочной обмотки показывает, что ток короткого замыкания с увеличением частоты вращения на силовой обмотке увеличивается с 18,46 А на 180 об/мин до 28,6 А на 6000 об/мин, а для слаботочной обмотки ток короткого замыкания увеличивается с 0,143 А на 180 об/мин до 0,318 А на 6000 об/мин., что в свою очередь дает возможность определения максимального тока короткого замыкания и, соответственно, выбора необходимого диаметра провода.

Анализ внешних характеристик МЭГ (рис 7, и 11) показывает, что с возрастанием частоты вращения жесткость характеристик уменьшается вследствие увеличения индуктивного сопротивления якоря по продольной оси.

По результатам анализа нагрузочных и внешних характеристик МЭГ можно подобрать силовые элементы систем регулирования электротехнического комплекса.

Анализ характеристик выходной мощности МЭГ (рис. 8 и 12) позволяет оценить величины полезной мощности при использовании стабилизации напряжения, и максимальной мощности, выдаваемой МЭГ.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований макетного образца магнитоэлектрического генератора, являющегося составной частью электротехнического комплекса.

В ходе эксперимента получены внешние характеристики силовой обмотки на частотах вращения 2000, 4500 об/мин. Данные эксперимента занесены в таблицу 2. По результатам экспериментальных данных в *EXCEL* построены внешние характеристики силовой обмотки, а также характеристики мощности (рис. 15). Расхождение с теоретическими расчетами составляет не более 10 %.

Таблица 2 – Экспериментальные скоростные и внешние характеристики обмотки освещения макетного образца генератора

Скоростная характеристика генератора							
n , об/мин	1000	2000	3000	4000	4500	5000	6000
U , В	10	20	30	40	45	50	60
Внешняя характеристика на частоте 2000 об/мин							
I , А	0	2	8	10	16	19	20
U , В	20	18	16,8	16	13	11	9
Внешняя характеристика на частоте 4500 об/мин							
I , А	0	5	15	25	25,3	25.8	26
U , В	45	40	31	12	10.5	7,8	5,2

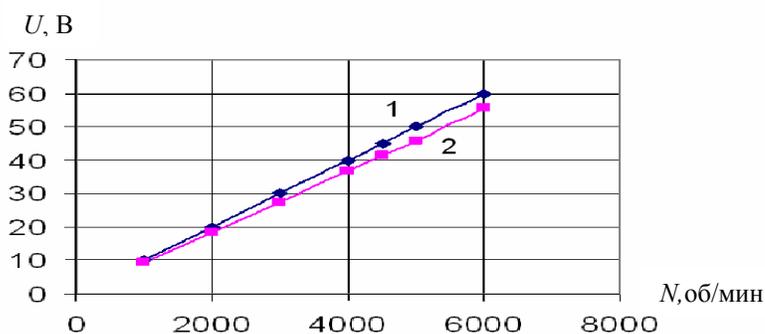


Рисунок 14 – Скоростные характеристики силовой обмотки:
1 – Экспериментальная; 2 – Расчетная

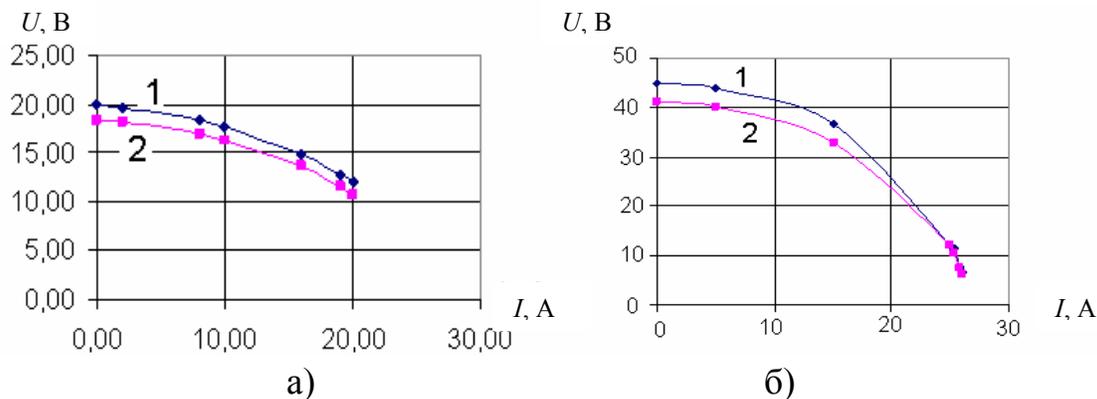


Рисунок 15 – Расчетная (2) и экспериментальная (1) внешние характеристики силовой обмотки:
а) на частоте 2000 об/мин; б) на частоте 4500 об/мин.

Также было проведено экспериментальное определение значения величины магнитной индукции в воздушном зазоре МЭГ. При анализе результатов, среднее значение магнитной индукции в воздушном зазоре составило 0,3 Тл.

Было проведено измерение индуктивностей обмоток МЭГ RLC-метром. Расхождение расчетных значений величин индуктивностей обмоток МЭГ с измеренными значениями составило не более 2%.

Таким образом, предложенная методика расчета индуктивности обмоток генератора доказывает её адекватность и возможность применения при расчетах параметров МЭГ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложена и обоснована эффективность применения МЭГ высокой удельной мощности в системах электроснабжения электротехнического комплекса.

2. Результаты моделирования магнитного поля МЭГ высокой удельной мощности и анализа взаимного влияния электромагнитных полей слаботочной и силовой обмотки выявили, что взаимное влияние силовой обмотки на слаботочную при их расположении на различных полюсах, приводит к несимметричному распределению индукции магнитного поля в воздушном зазоре. В номинальном режиме работы магнитоэлектрического генератора эта неравномерность достигает 7 %.

3. Разработана и экспериментально подтверждена математическая модель МЭГ высокой удельной мощности. На основе анализа результатов моделирования магнитного поля и оценки электромагнитного взаимодействия силовой и слаботочной обмотки показано, что изменение величины тока в силовой обмотки от нуля до номинального значения не оказывает заметного влияния на ток в слаботочной обмотке, а при изменении тока в силовой обмотке от нуля до величины тока короткого замыкания, ток в слаботочной обмотке увеличивается на 0,4 % вследствие вытеснения магнитного поля под полюсами силовой обмотки. В результате действия реакции якоря, номинальный ток силовой обмотки МЭГ при номинальной частоте вращения (4500 об/мин.) меньше тока короткого замыкания на 12 %, а при частоте вращения 2000 об/мин номинальный ток меньше тока короткого замыкания в 2,6 раза. Полученные в результате математического моделирования характеристики МЭГ отражают все характерные закономерности МЭГ с высококоэрцитивными магнитами.

4. Разработан и изготовлен макетный образец магнитоэлектрического генератора, входящий в состав электротехнического комплекса, с удельной мощностью в 2,5 раза выше выпускаемых на территории РФ. Путем экспериментальных исследований установлено, что расхождение между теоретическими и экспериментальными данными при исследовании выходных характеристик магнитоэлектрического генератора не превышает 10%.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах**В изданиях из перечня ВАК:**

1. Исследование магнитного поля генератора с высококоэрцитивными магнитами / Ф. Р. Исмагилов, И. Х. Хайруллин, Е. А. Полихач // Вестник УГАТУ - 2007. Т.9. №6 (24). Уфа С. 187-189.

2. Исследование установившегося режима синхронного генератора возвратно-поступательного движения / Р.Р. Саттаров, Е.А. Полихач, Н.Л. Бабилова // Вестник УГАТУ - 2007. Т.9, №6 (24). Уфа С. 194-199.

3. К вопросу о классификации линейных генераторов / Р.Р. Саттаров, Н.Л. Бабилова, Е.А. Полихач // Вестник УГАТУ- 2009. Т.12. №2(31). Уфа С. 144-149.

В других изданиях

4. Вопросы оптимизации конструкции амортизатора / В. А. Папернюк, Л. Р. Намазгулова, М. Б. Гумерова, Е. А. Полихач // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. научный сб. Уфа: УГАТУ 2002. – С. 167-172.

5. Применение метода двух реакций для решения задачи по определению потерь в тонкой пластине / В. А. Папернюк, Е. А. Полихач // Энергоэффективная экономика автоматизированные системы учета энергоносителей. Проблемы, задачи, перспективы научно-технического развития опыт внедрения в РБ. - Уфа 2003, С. 112-114.

6. Задачи оптимизации магнитоэлектрического демпфера / В.А. Папернюк, Л.Н. Риянов, Е. А. Полихач // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Межвуз. научный сб. – Уфа: УГАТУ, 2003. С.143-146

7. Микропроцессорная система зажигания для снегохода / Р.Н. Султангалеев, Ф.Р. Исмагилов, А. А. Жеребцов, Е. А. Полихач // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Межвуз. научный сб. – Уфа: УГАТУ 2005, С. 176-181.

8. Экспериментальное исследование магнитоэлектрического генератора / Ф.Р. Исмагилов, Е.А. Полихач, Н.Л. Бабилова. // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Межвуз. научный сб. – Уфа: УГАТУ, 2006. - С.80-85.

9. О развитии конструкций синхронных машин с постоянными магнитами / Р.Р. Саттаров, Е.А. Полихач, Н.Л. Бабилова. // Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ - 2007»: Всероссийская научная конф. Астрахань, 2007. С. 5-9.

10. Использование поведенческих элементов при моделировании системы зажигания для снегохода / А.А. Жеребцов, Ф.А. Камалов, Ф.Р. Исмагилов, Е. А. Полихач // Материалы Всероссийской научной конференции 18-20 апреля 2007.: в 2ч. Ч. 2. – 256с. Астрахань, 2007 С. 80-85

11. Исследование распределения магнитного поля в серийно выпускаемых магнето и оценка влияния полюсных наконечников магнитов на распределение и концентрацию поля в зазоре / Е. А. Полихач // Материалы Всероссийской научной конференции 18-20 апреля 2007.: в 2ч. Ч. 2. – 256с. Астрахань, 2007 С. 202-205с.

12. Распределение индукции магнитного поля в воздушном зазоре магнитоэлектрического генератора / Д.В. Рыжиков, Е. А. Полихач // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. научный сб. – Уфа: УГАТУ, 2007. С.213-217.

13. Исследование новых конструкций индукторов магнитоэлектрических машин / Ф.Р. Исмагилов, Р.Р. Саттаров, Е. А. Полихач // Технические науки и современное производство: международная конференция» 26 ноября - 4 декабря 2007 г. Китай (Пекин) С. 119-120

14. Моделирование трансформаторных элементов систем зажигания с помощью TRANSFORMER DESIGNER в системе ORCAD 10.5 / А.А. Жеребцов, Ф.А. Камалов, Е. А. Полихач // Современные техника и технологии: международная научно-практической конференция студентов, аспирантов и молодых ученых , Сборник трудов в 3 – х томах. Т.1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 547 С. С. 426-427.

15. Бесконтактный однофазный синхронный генератор / Г. Ф. Мухамадеева, Е. А. Полихач // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. научный сб. – Уфа: УГАТУ, 2008. С.164 - 167.

16. Генераторы с постоянными высококоэрцитивными магнитами / А. А. Никулин, Е. А. Полихач // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: межвуз. научный сб. – Уфа: УГАТУ, 2008. С.207 - 211.

17. Оптимизация размеров дискового генератора для мобильного ветроагрегата / Ф. Р. Исмагилов, Е. А. Полихач // Материалы Международной научной конференции «АСТИНТЕХ 2009» 11-14 мая 2009.: Астрахань, 2009. – 268 С.

Диссертант

Полихач Е. А.

ПОЛИХАЧ Евгений Александрович

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ МАЛЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Специальность:

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать __.11.2009. Формат 60× 84 1/16.

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр. – отт. 1,0. Уч. – изд. л. 1.

Тираж 100 экз. Заказ №

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа – центр, ул. К. Маркса, 12