

**УТВЕРЖДАЮ**

И.О. проректора по научной работе ФГБОУ ВО

«Московский авиационный институт

(национальный исследовательский

университет)» (МАИ)

профессор, д.т.н.

Равикович

13 ноября 2021 г.



### **ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертационную работу Каурова Сергея Юрьевича на тему **«Интегрированный стартер-генератор автономных энергетических объектов на базе синхронной машины с постоянными магнитами»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты»

#### **Актуальность темы исследований**

Применение мехатронных систем на подвижных объектах, как гражданского, так и военного назначения непрерывно расширяется. Любой подвижной объект содержит силовую установку, как правило, на основе тепловой машины – двигателя внутреннего сгорания или газотурбинного двигателя, требующих стартера для своего запуска. В большинстве случаев для этой цели применяются электродвигатели, которые после запуска тепловой машины представляют собой балластную нагрузку объекта, снижающую его тактико-технические характеристики или коммерческую нагрузку. Вместе с тем, тепловая машина является приводом для электромеханического генератора, обеспечивающего электроснабжение бортовых потребителей. Стремление объединить две электрические машины в одну обусловило разработку двухрежимных электрических машин – стартер-генераторов. Известны разработки таких устройств на базе коллекторных машин, в которых противоречия между высокооборотным генераторным режимом и стартерным, начинающим свою работу из режима короткого замыкания (когда частота вращения равна нулю), устранялись применением между стартером-генератором и тепловым двигателем редуктора с изменяемым коэффициентом передачи. Однако, этот способ применим лишь для стартер-генераторов небольшой мощности из-за наличия коллектора, являющегося самым теплонапряжённым узлом электрической машины.

Данная проблема была решена переходом от коллекторной машины к синхронной с возбуждением от высококоэрцитивных постоянных магнитов, и разработке электронных коммутаторов на таких силовых транзисторах, как IGBT и MOSFET. Мощный регулируемый вентильный электропривод позволяет повысить надежность системы запуска теплового двигателя и реализовать требуемые характеристики стартера и генератора в одной электрической машине.

В литературе, посвященной разработке и исследованию стартер-генераторов на базе магнитоэлектрических синхронных машин, интегрированных в тепловой двигатель, многие вопросы в области проектирования и математического моделирования освещены не достаточно полно. Поэтому, разработка научно-обоснованных методических основ моделирования и инженерного проектирования таких устройств с улучшенными массогабаритными и энергетическими показателями является актуальной научной задачей.



## **Новизна полученных результатов и выводов**

К новизне полученных результатов можно отнести следующие положения диссертационной работы:

– разработаны математические модели генераторного и двигательного режимов работы электрической машины, позволяющие осуществлять исследование установившихся и переходных процессов в разомкнутой и замкнутой системах управления, отличающиеся уточненным учетом влияния параметров регулятора напряжения и системы управления на характеристики интегрированного стартер-генератора;

– модель интегрированного стартер-генератора в двигательном режиме на базе системы уравнений бесконтактного двигателя постоянного тока, обеспечивающая возможность уточненного определения параметров системы регулирования частоты вращения и момента при запуске теплового двигателя;

– методика решения задачи параметрической оптимизации размеров зубцово-пазовой зоны, ярма статора, объема постоянных магнитов, величины немагнитного зазора в двухрежимной электрической машине посредством конечно-элементного моделирования.

– имитационные модели, позволяющие исследовать реакцию интегрированного стартер-генератора на различные виды воздействий при работе в генераторном и двигательном режимах.

## **Апробация работы и публикации**

Основные положения диссертационной работы докладывались на семи международных и трёх Всероссийских научно-технических конференциях, и нашли отражение в опубликованных 27 работах, в том числе 14 статей в журналах из перечня ВАК РФ, 1 статья в журнале, относящемся к базе Scopus, получены 2 патента РФ на изобретения.

## **Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации**

Обоснованность научных положений и выводов обусловлена использованием общепринятых допущений и строгих математических методов, компьютерным моделированием, подтверждением теоретических выводов данными экспериментальных исследований. Достоверность подтверждена практикой применения предложенных решений при проектировании, создании и испытании опытного образца интегрированного стартер-генератора

## **Соответствие содержания диссертации автореферату и указанной специальности**

Содержание автореферата полностью соответствует тексту диссертации. Представленная работа соответствует паспорту специальности 05.09.01 – «Электромеханика и электрические аппараты»:

– в части формулы специальности п.1 «Анализ и исследование физических явлений, лежащих в основе функционирования электрических, электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов»;

– в части формулы специальности п.3 «Разработка методов анализа и синтеза преобразователей электрической и механической энергии».

## **Значимость результатов для науки и производства**

Результаты диссертационной работы могут представлять интерес для ряда производственных и научно-технических предприятий, занимающихся разработкой мехатронных систем для подвижных объектов, среди которых следует отметить ПАО НИПТИЭМ (г. Владимир), Сарапульский электрогенераторный завод (г. Сарапул),



Уфимское агрегатно-производственное объединение (г. Уфа), АО Электропривод (г. Киров), ООО Электропривод (г. С.-Петербург), производственное предприятие Электропривод (г. Пермь) и др.

### Замечания по диссертационной работе

1. По тексту диссертационной работы имеются следующие:

- на с. 6 использован термин «моделирующий сигнал», вероятно, имеется ввиду модулирующий;
- на с. 10 в ссылке на пункт 1 Паспорта специальности перед словом «явлений» пропущено определение «физических»;
- на с. 11 не расшифрована аббревиатура ИПК ГОУ ОГУ;
- на с. 37 кроме перечисленных пунктов технического задания обязательно указывается вид охлаждения;
- на с. 44 первое требование к магнитам звучит как «обеспечение максимального магнитного потока в заданном объеме», поток определяется как интеграл от магнитной индукции по контуру, а не по объему;
- на с. 47 в качестве достоинства когтеобразного ротора указана возможность намагничивания цилиндрического магнита в однородном магнитном поле, но на с. 48 говорится о намагничивании вместе с арматурой ротора;
- на с. 50 отмечено, что «Генераторы с ротором «звездочка» ... имеют мягкие характеристики, что облегчает работу стабилизаторов и регуляторов напряжения», вместе с тем известно, что чем внешняя характеристика жёстче, тем требования к стабилизатору напряжения меньше;
- на с. 53 «... коллекторным ДПТ, у которого единственным видом потерь являются электрические потери в обмотке якоря» – не соответствует действительности;
- на с. 55 Рис. 2.8 – устаревшее обозначение транзисторов;
- на с. 63 и с. 72 использован устаревший термин «намагничивающая сила» вместо МДС;
- на с. 108 используется термин «диаметр зазора», можно говорить о диаметре расточки статора, о диаметре ротора, о величине зазора, но никак о его диаметре;
- на с. 110 в формулах (4.16) и (4.17) для фаз В и С фазовые сдвиги должны быть соответственно  $+2\pi/3$  и  $-2\pi/3$ .

2. По тексту диссертационной работы и автореферата имеются редакционные замечания.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не снижают её научной и практической значимости.

### Заключение

Диссертация Каурова Сергея Юрьевича на тему «Интегрированный стартер-генератор автономных энергетических объектов на базе синхронной машины с постоянными магнитами» представляет собой законченное научное исследование, выполненное на профессиональном уровне, в котором получены новые результаты, представляющие собой решение важной научной задачи, имеющей значение для развития мехатронных систем на подвижных объектах.

Диссертационная работа Каурова С.Ю. отвечает требованиям п.9 - п.14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ (№ 842, от 24 сентября 2013 г., ред. 11.09.2021г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.01 - «Электромеханика и электрические аппараты».

Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором кафедры «Электроэнергетические электромеханические и биотехнические системы» федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) Пенкиным Владимиром Тимофеевичем.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Электроэнергетические электромеханические и биотехнические системы» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ), протокол №4 от 15 ноября 2021г.

**Сведения о ведущей организации:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ).

Адрес: 125993, г. Москва, ГСП-3, А-80, Волоколамское шоссе, д.4,

тел. +7 (499) 158 43 33, факс +7 (499) 158 29 77.

Электронная почта: [yurav@mai.ru](mailto:yurav@mai.ru), [mai@mai.ru](mailto:mai@mai.ru)

Сайт: [www.mai.ru](http://www.mai.ru)

Зав. кафедрой «Электроэнергетические электромеханические и биотехнические системы» (Специальность 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты»), д.т.н., с.н.с.

Ковалев  
> Константин  
Львович

Профессор кафедры «Электроэнергетические электромеханические и биотехнические системы» (Специальность 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты»), д.т.н., с.н.с.

Пенкин  
Владимир  
Тимофеевич