

**ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**  
**на диссертационную работу Холодилова Сергея Сергеевича**  
**«Диагностика электромагнитной системы синхронных двигателей с постоянными магнитами» по специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы**

Холодилов Сергей Сергеевич в 2010 году окончил кафедру электроники и микроэлектроники, получил диплом бакалавра по направлению подготовки 210100 «Электроника и микроэлектроника». В период с 2010 по 2012 гг. обучался в магистратуре кафедры электроники и микроэлектроники по направлению подготовки 210100 «Электроника и микроэлектроника». С 2019 по 2023 гг. проходил обучение в очной аспирантуре МГТУ им. Г.И. Носова по научной специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы. Диссертационные исследования выполнял на кафедре электроники и микроэлектроники. За время обучения и дальнейший период подготовки диссертации успешно сдал кандидатские экзамены.

В процессе подготовки кандидатской диссертации соискатель Холодилов С.С. зарекомендовал себя как высококвалифицированный специалист-исследователь, способный самостоятельно выполнять научные исследования, формулировать цели и задачи, выполнять обработку экспериментальных данных, создавать математические и имитационные модели синхронных двигателей, успешно решать задачи связанные с поиском методов диагностирования возможных неисправностей в них.

Актуальность темы Холодилова С.С. обусловлена необходимостью существенного повышения технико-экономических показателей предприятий, за счет повышения надежности электрического и механического оборудования. В этом случае происходит увеличение времени между текущими и капитальными ремонтами и значительно сокращаются эксплуатационные расходы и вместе с ними материальные и другие ресурсы. Металлургическое производство является самым затратным по электропотреблению, в нем сконцентрировано значительное количество электроприводов. Больше ста лет асинхронные электрические машины занимают ключевые позиции в регулируемом электроприводе переменного тока. Наряду с ними в последние десятилетия активно развиваются новые типы электрических машин, которые конструктивно в активной части не содержат обмоток на роторе, ротор несимметричный в магнитном отношении, на статоре может быть одна или две обмотки. К таким машинам относят синхронные реактивные и индукторные электромеханические преобразователи. Все исследования носят частный характер и не охватывают весь класс электрических машин в целом. Нет единых аналитических зависимостей для электромагнитного момента, активной и реактивной мощностей, коэффициента мощности, методов инженерных расчетов машин, методов оптимизации, единых подходов к синтезу управляющих воздействий на статорные обмотки, расчету потерь, не рассматриваются особенности синтеза таких машин для конкретных производственных механизмов с учетом характера нагрузочных и скоростных диаграмм и режимов работы в расширенном диапазоне скоростей и моментов нагрузки. В связи с вышеизложенным комплексное исследование синхронных электрических машин является



актуальным, при этом существует необходимость определения диагностических признаков неисправностей как зарождающихся так и проявившихся.

На основании вышеизложенного актуальной задачей является разработка систем токовой диагностики синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ) как отдельного направления диагностики электротехнических комплексов. Также, отдельной проработки требуют вопросы, связанные с наличием в СДПМ высококоэрцитивных магнитов и присутствии им неисправностей. В настоящее время данные аспекты обсуждаются в большом числе публикаций, из чего следует актуальность данного направления.

В диссертационной работе были получены следующие новые научные результаты:

- предложен метод получения диагностической информации в генераторном режиме. Показано, что генераторный режим является эффективным режимом для получения диагностического сигнала, позволяющий в полной мере реализовать методы математического анализа сигналов, без внесения погрешностей в виде спектральных составляющих от работы преобразователей;
- показана принципиальная возможность применения вейвлет-преобразования для идентификации отдельных элементов магнитной системы СДПМ. Данный метод позволяет однозначно выявить влияние конкретных магнитов на конкретную группу обмоток, что в дальнейшем позволит выполнить непосредственное сравнение сигналов от данных групп;
- разработан метод синхронизации для получения данных с СДПМ, позволяющий выявить линейные токовые сигнатуры и однозначно идентифицировать периоды сигнала, отвечающие за определенную группу магнитов. Показано, что использование вейвлет-преобразования для синхронизации исследуемого сигнала существенно расширяет возможности сигнатурного анализа линейного тока.
- проведено практическое исследование влияния интерполяции на методы сравнения сигналов. Показано, что использование интерполяции при исследовании токовых сигналов допустимо, т.к. интерполяция не оказывает значительного влияния на результаты анализа Фурье и вейвлет-преобразования;
- разработан метод диагностики СДПМ, с применением сигнатурного анализа, способа минимизации влияния основной гармоники на результаты диагностики и применении генераторного режима как режима-источника диагностируемого сигнала;
- предложенный метод диагностики СДПМ, позволяет выявить даже незначительные изменения в структуре двигателя, без привязки к конкретному типу СДПМ.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке методов, позволяющего проводить проактивную диагностику, выявлять структурные изменения в двигателе, в том числе и критические. К структурным изменениям относятся изменения в магнитной и геометрической структуре, а также изменения в электрической части.

Разработанный метод в составе комплексной системы диагностики позволяет работать в режиме непрерывного мониторинга и случае критических изменений в СДПМ проведет идентификацию неисправностей и оповещение пользователя, что позволит снизить аварийность приводов на СДПМ, а на тех производствах где еще не внедрено обслуживание механизмов по состоянию перейти к нему.

Результаты диссертации рекомендуются к внедрению на электроприводах с синхронными двигателями с постоянными магнитами различных мощностей.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций основываются на: 1) правомерности исходных предпосылок и положений; 2) корректном использовании математических и имитационных методов моделирования на ЭВМ; 3) соответствием полученных в работе результатов представленным в научной трудах по схожей тематике других авторов; 4) результатами экспериментальных исследований, полученными на погружных скважных насосах с СДПМ применяемых в системе водоснабжения АО «Международный Аэропорт Магнитогорск».

Основные результаты диссертационной работы получены соискателем самостоятельно.

Результаты диссертации представлены в научных публикациях и апробированы на международных научно-технических конференциях. Результаты диссертационной работы опубликованы в 10 научных трудах, включая 2 научные статьи из перечня ВАК РФ, 3 научных статей в изданиях, индексируемых в наукометрической системе Scopus.

На основании вышеизложенного заявляю, что диссертационная работа выполнена на достаточно высоком уровне, удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Холодилов С.С. заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы.

Научный руководитель

Профессор

кафедры электроники и микроэлектроники

ФГБОУ ВО «Магнитогорский

государственный технический

университет им. Г.И. Носова»,

докт. техн. наук, доцент



Петушков Михаил Юрьевич

Шифр научной специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы  
455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный

технический университет им. Г.И. Носова»

Тел. 8-906-852-1409, e-mail: m.petushkov@magtu.ru

