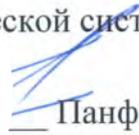


УТВЕРЖДАЮ:

Начальник департамента НТС
и научно-технической информации –
Научный руководитель

АО "Научно-технический центр Россети
Единой сетевой компании Единой
энергетической системы", д.т.н., профессор


Панфилов Дмитрий Иванович

 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Страхова Александра Станиславовича

«Разработка методов контроля технического состояния обмоток роторов
электродвигателей собственных нужд электростанций в пусковом режиме»
по специальности 05.14.02 – «Электрические станции
и электроэнергетические системы».

Актуальность темы

Хорошо известно, что надежность функционирования электрических станций зависит от надежности работы электрооборудования системы собственных нужд. В частности, отказ высоковольтных асинхронных двигателей ответственных механизмов собственных нужд, к которым относятся рассматриваемые в диссертационной работе механизмы топливоприготовления и тягодутьевого тракта, могут привести к снижению вырабатываемой блоком электростанции мощности и электрической энергии или полному его отключению, а, следовательно, к значительному экономическому ущербу.

Одной из причин отказов высоковольтных асинхронных двигателей собственных нужд являются повреждения их короткозамкнутых обмоток роторов, которые опасны не только повышением потерь при работе асинхронного двигателя, но и тем, что концы оборванных стержней могут повредить изоляцию обмотки статора или сталь статора, что потребует дорогостоящего ремонта двигателя.

Существующие в настоящее время методы контроля технического состояния обмоток роторов в установившихся режимах не могут эффективно использоваться для контроля высоковольтных асинхронных двигателей механизмов топливоприготовления и тягодутьевого тракта из-за специфических условий режимов их работы и конструкции.

В работе автором показано, что наиболее эффективно производить контроль

технического состояния обмоток роторов подобных двигателей в пусковом режиме работы, которому в существующих работах уделяется очень мало внимания. Контроль в пусковом режиме работы имеет ряд существенных преимуществ, а именно: 1) возможность оценки технического состояния обмоток роторов асинхронных электродвигателей, работающих в режимах с изменяющейся нагрузкой (например, двигателей дробилок); 2) возможность проведения контроля технического состояния обмоток роторов асинхронных электродвигателей, работающих с нагрузкой значительно меньшей номинальной; 3) возможность выявления обрывов стержней пусковой обмотки для асинхронных электродвигателей с двумя обмотками ротора.

Исходя из вышеизложенного, тема диссертационной работы А.С. Страхова, цель которой заключается в разработке методов контроля технического состояния обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей с тяжелыми условиями пуска, применяемых в системе собственных нужд электрических станций, по внешнему магнитному полю и току статора в пусковом режиме, является актуальной и востребованной.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Статистический анализ повреждений обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей механизмов тягодутьевого тракта и топливоприготовления электростанций, а также статистический анализ unplanned простоев блоков, вызванных отказом указанных выше двигателей.

2. Анализ существующих методов контроля технического состояния обмоток роторов асинхронных двигателей в процессе эксплуатации и оценка возможности их применения для высоковольтных двигателей собственных нужд электростанций;

3. Разработка алгоритма для анализа частотно-временных спектров сигналов высоковольтных асинхронных двигателей электростанций при пуске на базе оконного преобразования Фурье и его апробация на тестовом сигнале, близком к пусковым сигналам высоковольтных асинхронных двигателей с длительным пуском;

4. Определение присутствующих во внешнем магнитном поле и токе статора при пуске диагностических признаков и параметров повреждения обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей системы собственных нужд электростанций за счет разработки в программном комплексе Ansys на основе метода конечных элементов моделей данных двигателей и исследования на основе разработанных моделей влияния обрывов стержней обмоток роторов на частотно-временные спектры сигналов тока статора и радиальной составляющей индукции внешнего магнитного поля;

5. Разработка методики контроля технического состояния обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей с тяжелыми условиями пуска на основе спектрального анализа пусковых сигналов тока статора и радиальной составляющей индукции внешнего магнитного поля и проверка работоспособности предлагаемой методики на экспериментальном стенде на низковольтном асинхронном двигателе при подаче пониженного напряжения для искусственного затягивания пуска и в ходе натурных экспериментов на реальных высоковольтных асинхронных двигателях ме-

ханизмов тягодутьевого тракта и топливоприготовления системы собственных нужд электростанций.

Структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 150 наименований и 4 приложений. Общий объем работы составляет 223 страницы, в тексте содержится 124 рисунка и 42 таблицы.

В первой главе показаны основные последствия отказов высоковольтных асинхронных двигателей собственных нужд электростанций и произведена их экономическая оценка. Проанализированы существующие методы контроля технического состояния обмоток роторов асинхронных двигателей. Рассмотрены особенности режимов работы и конструкции высоковольтных асинхронных двигателей, применяемых в качестве приводов механизмов топливоприготовления и тягодутьевого тракта на электростанциях, на основании чего сделано заключение о необходимости разработки новых методов контроля обмоток роторов в пусковом режиме. В заключении главы поставлены задачи для дальнейшего исследования.

Во второй главе показано, как изменяются частоты гармоник, характеризующих наличие повреждения обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей, в процессе их пуска. На основании полученных результатов автором предложен алгоритм для обработки пусковых сигналов асинхронных двигателей с длительным пуском на основе оконного преобразования Фурье, а также сформулированы условия для возможности его применения. Проведенные исследования показали, что погрешность определения амплитуд подобным методом не превышает 10% от их действительных значений.

В третьей главе представлены результаты проведенных автором исследований на моделях высоковольтных асинхронных двигателей, применяемых в системе собственных нужд электростанций. В результате анализа выявлены диагностические признаки и параметры наличия повреждений обмоток роторов в сигналах радиальной составляющей внешнего магнитного поля и тока статора при пуске двигателя, разработаны методы контроля на основе спектрального анализа этих сигналов. Автором показано, что чувствительность разработанных методов контроля значительно выше существующих в настоящее время, при этом даже при обрыве одного стержня обмотки ротора амплитуда гармоник повышается более чем в 100 раз и для сигнала внешнего магнитного поля, и для сигнала тока статора.

Также в этой главе доказана возможность проведения экспериментальных исследований на модели низковольтного асинхронного двигателя при подаче на него напряжения значительно меньше номинального. Показано, что даже в этом случае в спектрах пусковых сигналов возрастают амплитуды гармоник, характеризующих наличие повреждения. Кроме того, в главе рассмотрены вопросы помехозащищенности сигнала радиальной составляющей внешнего магнитного поля.

В четвертой главе представлены результаты проведенных автором экспериментальных исследований. В ходе исследований на экспериментальном стенде подтверждены сделанные ранее выводы о возможности обнаружения в спектрах пусковых

сигналов тока статора и радиальной составляющей внешнего магнитного поля гармонических составляющих, характеризующих наличие повреждения обмоток роторов асинхронных двигателей. Также произведено сопоставление результатов на математической и физической моделях, в результате которого подтверждено, что модели двигателей с одним оборванным стержнем могут быть использованы при проведении контроля высоковольтных асинхронных двигателей с длительным пуском.

На основе проведенных исследований автором разработана методика проведения контроля на основе спектрального анализа пусковых сигналов внешнего магнитного поля и тока статора. Пороговые значения определяются на основе модельного анализа путем сопоставления амплитуд характерных гармоник с амплитудами на математической модели двигателя с одним оборванным стержнем. Апробация методики проведена на высоковольтных асинхронных двигателях механизмов топливоприготовления и тягодутьевого тракта на двух электростанциях.

В заключении изложены основные результаты работы.

Изложение материала диссертации имеет классическую структуру для подобного рода работ. Научные результаты диссертации раскрыты в опубликованных работах, доложены на международных научно-технических конференциях. Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает ее научную новизну, теоретические и практические результаты.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Разработанные методы и методика проведения контроля технического состояния обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей собственных нужд рекомендуются к использованию персоналом, занимающимся обслуживанием высоковольтных асинхронных электродвигателей и проведением контроля их технического состояния, на электростанциях энергетических компаний России (ПАО "Т Плюс", АО "Интер РАО - Электрогенерация" и т.д.). Также результаты могут быть использованы при проведении учебных занятий по дисциплинам, посвященным изучению методов диагностирования электрооборудования электростанций в технических вузах.

Научная новизна исследования определяется следующими наиболее значимыми научными результатами:

– Определены новые диагностические признаки наличия оборванных стержней короткозамкнутых обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей с тяжелыми длительными пусками, применяемых в системе топливоприготовления и тягодутьевого тракта электростанций, заключающиеся в резком возрастании амплитуд гармоник от фиктивной обмотки ротора в спектрах тока статора и радиальной составляющей индукции внешнего магнитного поля в пусковом режиме;

– Разработан алгоритм для анализа частотно-временных спектров высоковольтных асинхронных двигателей собственных нужд электростанций с тяжелыми длительными пусками в пусковом режиме работы на основе оконного преобразования Фурье с обоснованием условий и требований для возможности его применения;

– Разработан метод контроля технического состояния обмоток роторов высоко-

вольтных асинхронных двигателей собственных нужд электростанций с тяжелыми длительными пусками, основанный на оценке амплитуд гармоник от фиктивной обмотки ротора первых порядков на верхних и нижних боковых частотах в сигнале радиальной составляющей индукции внешнего магнитного поля в пусковом режиме;

– Разработан метод контроля технического состояния обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей собственных нужд электростанций с тяжелыми длительными пусками, основанный на оценке амплитуды гармоники от фиктивной обмотки ротора на нижней боковой частоте порядка, совпадающего с числом пар полюсов, в сигнале тока статора при пуске.

Обоснованность и достоверность результатов работы подтверждается корректностью применения математических методов, апробированного специализированного программного обеспечения; совпадением теоретических результатов, результатов, полученных на математических моделях и результатов, полученных на экспериментальном стенде и реальных высоковольтных асинхронных двигателях собственных нужд электростанций с тяжелыми длительными пусками. Полученные результаты не противоречат основным положениям технических наук и согласуются с опубликованными результатами исследований, проведенных другими авторами.

Практическую значимость представляют следующие основные результаты диссертационных исследований и разработок:

– повышение достоверности контроля технического состояния обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей механизмов топливоприготовления и тягодутьевого тракта электростанций по радиальной составляющей индукции внешнего магнитного поля и току статора при пуске за счет: исключения влияния динамического эксцентриситета и поведения нагрузки на результаты контроля; определения пороговых значений диагностических параметров на основе модельного анализа; повышения чувствительности к обрыву одного стержня обмотки ротора;

– уменьшение числа незапланированных остановов или снижений мощности электростанций за счет раннего выявления обрывов стержней обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей системы собственных нужд с тяжелыми длительными пусками;

– снижение экономических затрат электростанций на ремонты высоковольтных асинхронных двигателей системы собственных нужд с тяжелыми длительными пусками за счет раннего выявления обрывов стержней их обмоток роторов.

Замечания по работе

1. Известно, что в торцевых зонах асинхронного электродвигателя внешнее магнитное поле заметно сильнее. Поэтому непонятно, почему оно не рассматривалось в работе.

2. На наш взгляд для обработки нестационарных сигналов рациональнее использовать не оконное преобразование Фурье, а более современное вейвлет-преобразование.

3. Из текста диссертации не ясно, какие действия должен предпринимать персонал электростанции при обнаружении повреждения обмотки ротора электродвигателя разработанными методами.

4. В задачах диссертационной работы следовало бы добавить пункт: «Разработка методов контроля технического состояния ...».

Заключение по работе

Рассматриваемая диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований и разработок на актуальную тему предложены новые методы контроля технического состояния обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей механизмов топливоприготовления и тягодутьевого тракта на электростанциях. Диссертация отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. в актуальной редакции, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствующим специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации, а ее автор, Страхов Александр Станиславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Диссертационная работа, а также отзыв на диссертацию рассмотрены на заседании Научно-технического совета АО «Научно-технический Центр Россети Федеральной сетевой компании ЕЭС» протокол № 4 от 14 апреля 2022г.

Отзыв составлен:

Учёный секретарь НТС Департамента НТС
и научно-технической информации АО
"Научно-технический Центр Россети Фе-
деральной сетевой компании ЕЭС", д.т.н.,
профессор, Действительный член Акаде-
мии Электротехнических наук и РАЕН,
Заслуженный член СИГРЭ

Хренников
Александр Юрьевич

Подпись А.Ю. Хренникова

11 апреля 2022 г.

*Технический эксперт
Управления кадрового
обеспечения Д.В. Яковлев*

Контактные данные:

Акционерное общество «Научно-технический центр Россети Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы»
Адрес: 115201, Россия, г. Москва, Каширское ш., дом 22, к.3

сайт: <https://www.ntc-power.ru> , e-mail: info@ntc-power.ru , рабочий телефон: +7 (495) 727-19-09