

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, доцента

Вуколова Владимира Юрьевича на диссертацию

Страхова Александра Станиславовича

на тему «Разработка методов контроля технического состояния обмоток роторов электродвигателей собственных нужд электростанций в пусковом режиме»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.14.02 «Электрические станции и

электроэнергетические системы»

Актуальность темы диссертации.

Целью диссертационной работы является разработка 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.

Обрывы стержней обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей могут приводить к отказу двигателя и необходимости его ремонта или замены. Также, поскольку такие двигатели применяются на электрических станциях в качестве приводов механизмов собственных нужд, в том числе ответственных механизмов, их отказ может привести к необходимости отключения блока электрической станции или снижению вырабатываемой мощности и электрической энергии.

Несмотря на то, что в существующих публикациях рассматриваются различные методы контроля состояния обмоток роторов асинхронных двигателей, среди самых проработанных можно отметить методы спектрального анализа стационарных сигналов тока статора (MCSA) и внешнего магнитного поля в процессе нормальной эксплуатации двигателя. Однако для рассматриваемых в диссертационной работе двигателей более рациональным является проведение контроля при пуске асинхронных двигателей. Наиболее проработанный в настоящее время метод контроля состояния обмоток роторов в пусковом режиме (ВОРС, авторы Брюханов Г.А., Князев С.А.) обладает недостаточной чувствительностью и требует полной переработки с учетом развития применяемых технических средств для регистрации и обработки диагностических сигналов.

В связи с вышесказанным, выбранная автором тема исследования является актуальной, обоснованной и значимой для повышения надежности и безотказности функционирования системы собственных нужд электрических станций за счет своевременного обнаружения обрывов стержней обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей с тяжелыми условиями пуска.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов.

Научную новизну диссертационной работы представляют:

1. Новые диагностические признаки наличия оборванных стержней короткоза-

мкнутых 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;

2. Разработанный 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;

3. Метод контроля технического состояния обмоток роторов высоковольтных 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;

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

Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики.

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы в первую очередь отражается в изучении влияния обрывов стержней обмоток роторов и динамического эксцентриситета на спектры пусковых сигналов внешнего магнитного поля и тока статора асинхронных электродвигателей и доказательство того, что данные сигналы могут быть использованы для определения технического состояния асинхронных двигателей. Также большое внимание автором уделено доказательству актуальности темы, для чего произведена оценка экономического ущерба для электростанции вследствие повреждения обмоток роторов, что также является значимым результатом при выполнении диссертационной работы.

Практическая значимость результатов диссертационной работы определяется разработкой новых методов и методики контроля технического состояния, которые позволяют своевременно определять повреждения обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей механизмов топливоприготовления и тягодутьевого тракта электростанций, что оказывает положительное влияние на безотказность и экономичность работы электрической станции и ее системы собственных нужд. Разработанная методика проведения контроля технического состояния обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей собственных нужд может быть использована персоналом, занимающимся обслуживанием высоковольтных асинхронных электродвигателей и проведением контроля их технического состояния, на электрических станциях.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов.

Полученные автором результаты обоснованы, не противоречат основным положениям технических наук и согласуются с опубликованными результатами исследований, проведенных другими авторами, в ходе исследования использованы подходящие математические методы, в том числе методы обработки сигналов, а также специализированное программное обеспечение. Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением результатов и выводов, полученных на математических моделях асинхронных двигателей, разработанных в программном комплексе Ansys, на экспериментальном стенде, а также в ходе экспериментальных исследований, проведенных на высоковольтных асинхронных электродвигателях на двух электрических станциях. Экспериментальные результаты не противоречат выдвигаемым теоретическим положениям и результатам.

Общая характеристика работы.

Общий объем диссертационной работы составляет 223 страницы, в тексте содержится 79 рисунков и 36 таблиц. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 150 наименований (включая авторские) и 4 приложений.

Во введении автором дано обоснование темы диссертации и общая характеристика работы.

В первой главе автором произведен литературный обзор, посвященный исследованию вопросов повреждаемости обмоток роторов асинхронных двигателей и существующим методам контроля их технического состояния. Для подтверждения актуальности исследуемой темы автором произведено не только описание возможных последствий, к которым может привести повреждение обмоток роторов электродвигателей механизмов собственных нужд, для электростанций, но и произведен расчет экономического ущерба на основании имеющихся статистических данных. Полученные результаты подтвердили значимость темы диссертационной работы.

Из-за особенностей работы высоковольтных двигателей собственных нужд и их конструктивного исполнения был сделан вывод о том, что существующие методы контроля малоэффективны для выявления неисправностей, поэтому сделан вывод о необходимости разработки новых методов контроля, основанных на анализе спектров пусковых сигналов внешнего магнитного поля и тока статора при пуске асинхронного двигателя. В конце главы сформулированы основные задачи дальнейшего исследования.

Во второй главе рассматриваются вопросы, связанные с обработкой пусковых сигналов в процессе пуска двигателя, для обнаружения характерных диагностических признаков. Особенностью пусковых сигналов является то, что они являются нестационарными, при этом меняются не только амплитуды, но и частоты характерных гармонических составляющих, что значительно усложняет процесс диагностирования. Автором были проанализированы частоты характерных гармоник, показано их изме-

нение в процессе пуска, влияние на эти частоты числа пар полюсов двигателя. Также было показано, что из всех факторов, которые могут оказать влияние на гармонический состав двигателя, можно выделить динамический эксцентриситет, который приводит к появлению в спектре гармонических составляющих с такими же частотами, как и при повреждении обмоток роторов.

Далее в главе было показано, что для обработки пусковых сигналов внешнего магнитного поля и тока статора может быть использовано оконное преобразование Фурье при условии достаточной длительности пуска асинхронного двигателя, которая для рассматриваемых двигателей обычно значительно больше необходимой величины. На основании проведенного исследования для обработки пусковых сигналов высоковольтных двигателей собственных нужд электростанций в программном комплексе Matlab был разработан алгоритм, апробация которого произведена на искусственно созданном сигнале, близком к сигналу внешнего магнитного поля асинхронного двигателя. В результате анализа результатов показано, что погрешность определения амплитуд гармонических составляющих не превышает 10% от заданных значений.

В третьей главе представлены результаты исследования на компьютерных моделях асинхронных двигателей с длительными пусками, разработанными в программном комплексе Ansys. Первоначально были произведены исследования на моделях двух высоковольтных асинхронных двигателей, применяемых в качестве приводов механизмов собственных нужд электростанций. На данных моделях были определены новые диагностические признаки наличия повреждения в сигналах тока статора (рост амплитуды отраженной гармоники от фиктивной обмотки ротора порядка, совпадающего с числом пар полюсов асинхронного двигателя) и внешнего магнитного поля, соотношение между амплитудами для двигателей с исправной и поврежденной обмоткой составляло не менее 100 для всех гармонических составляющих. На основании полученных результатов были разработаны методы контроля технического состояния обмоток роторов на базе спектрального анализа пусковых сигналов внешнего магнитного поля и тока статора и обработкой сигналов на основе оконного преобразования Фурье, подтверждена более высокая достоверность контроля с использованием разработанных методов. Другим значимым результатом является доказательство автором того, что динамический эксцентриситет почти не оказывает влияние на пусковые сигналы.

После этого были произведены исследования на компьютерной модели низковольтного двигателя малой мощности. Автором доказано, что при малой длительности пуска проведения контроля двигателя невозможно, поэтому для искусственного затягивания пуска можно понижать величину питающего асинхронный двигатель напряжения. При анализе пусковых сигналов на разработанной модели при подаче напряжения, которое было значительно ниже номинального, показано, что сделанные

ранее выводы справедливы и для низковольтных асинхронных двигателей, поэтому на них также возможно проведение экспериментов.

В четвертой главе описаны все проведенные автором экспериментальные исследования, посвященные теме диссертационной работы. В ходе исследования автором произведены исследования как на экспериментальном стенде на маломощном низковольтном двигателе, так и на высоковольтных асинхронных электродвигателях на двух электрических станциях, применяемых в качестве приводов механизмов дымососов и дутьевых вентиляторов. Все полученные ранее на компьютерных моделях выводы были подтверждены и в ходе экспериментальных исследований, результаты исследований, произведенных в третьей и четвертой главах, не противоречат друг другу. Также в четвертой главе предлагается методика, в которой описывается не только последовательность действий при проведении контроля, но и необходимые технические средства, необходимые для ее реализации. Оценку технического состояния предлагается проводить на основе модельного анализа, что является обоснованным методом в данных условиях.

В заключении автором выполнено обобщение полученных в ходе исследования данных и сформулированы основные результаты диссертационной работы.

В приложениях описаны результаты, полученные на низковольтном асинхронном двигателе при проведении экспериментальных исследований, которые не включены в основное содержание работы, а именно анализ влияния питающего напряжения на длительность пуска двигателя и на его режимные параметры. Также в приложениях представлены акты внедрения и патенты на изобретения, полученные по результатам проведенных исследований.

Соответствие паспорту специальности.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы в части формулы специальности «... В рамках специальности проводятся исследования по развитию и совершенствованию теоретической и технической базы электроэнергетики с целью обеспечения экономичного и надежного производства электроэнергии ...» и в части области исследования:

- 1) пункту 5 «Разработка методов диагностики электрооборудования электроустановок»;
- 2) пункту 13 «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике».

Замечания по диссертации

1. При регистрации сигналов в качестве аналого-цифрового преобразователя автор использует звуковую карту. Непонятно, насколько обоснованным является применение данного устройства, а не специализированного аналого-цифрового преобразователя, предназначенного для измерений.

2. При описании методики следовало бы дать более конкретные указания по

проведению обследования асинхронных двигателей, указать, с какой периодичностью нужно производить контроль, какие действия следует предпринимать оперативному персоналу на электрических станциях при превышении амплитуд гармонических составляющих пороговых значений.

3. Одним из факторов, который приводит к изменению значений тока асинхронного двигателя при пуске, а также увеличению продолжительности пуска, является величина питающего напряжения. Однако в работе не рассмотрено, как будет влиять питающее напряжение на амплитуды характерных гармоник в пусковых сигналах тока статора и внешнего магнитного поля при наличии обрывов стержней и на длительность пуска высоковольтных асинхронных двигателей собственных нужд.

4. Следовало бы указать разработку методики проведения контроля технического состояния короткозамкнутых обмоток роторов высоковольтных асинхронных двигателей собственных нужд с тяжелыми длительными пусками в научной новизне или практической значимости.

5. Из текста диссертации и автореферата непонятно, почему гармоники при наличии динамического эксцентриситета практически не проявляются при пуске высоковольтных двигателей, но имеют существенные амплитуды на низковольтном двигателе при подаче пониженного напряжения.

Заключение по работе.

После ознакомления с диссертационной работой Страхова А.С. можно заключить, что все поставленные автором задачи выполнены, полученные результаты изложены полно, ключевые аспекты, связанные с разработкой научно обоснованных методов контроля состояния высоковольтных асинхронных двигателей при пуске, проработаны на высоком научно-техническом уровне.

Диссертационная работа является законченным исследованием, направленным на решение важной для электроэнергетики задачи повышения надежности функционирования электрооборудования системы собственных нужд электростанций, предлагающим методы и методику контроля состояния высоковольтных асинхронных двигателей собственных нужд электростанций в ходе их пуска на основе спектрального анализа сигналов внешнего магнитного поля и тока статора. Автореферат диссертации правильно передает суть проделанной автором работы, ее основные результаты и выводы. Содержание диссертации достаточно полно отражено в 22 публикациях автора. Научная новизна и практическая значимость результатов работы не вызывают сомнений.

Несмотря на высказанные замечания, диссертационная работа Страхова Александра Станиславовича «Разработка методов контроля технического состояния обмоток роторов электродвигателей собственных нужд электростанций в пусковом режиме» представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», с учетом ее актуальности, новизны и значимости полученных результатов для

науки и практики, полностью требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. в актуальной редакции, а ее автор, Страхов Александр Станиславович, заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Официальный оппонент

Вуколов Владимир Юрьевич,
кандидат технических наук, доцент

05.14.02 – «Электростанции и
электроэнергетические системы»,

Адрес: 603950, г. Нижний Новгород,
ул. Минина, д. 24.

Телефон: (831) 432-91-85.

Электронная почта: es@nntu.ru.

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Нижегородский
государственный технический универси-
тет им. Р.Е. Алексеева»,
доцент кафедры «Электроэнергетика,
электроснабжение и силовая электроника»

«01» июня 2022 г.

Вуколов Владимир Юрьевич

Подпись В.Ю. Вуколова удостоверяю:

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «НГТУ имени Р.Е.

Куркин Андрей Александрович