

Устройство на симисторах

для сушки изоляции асинхронных двигателей

В разработанном инновационном автоматическом портативном устройстве для автоматизации технологического процесса импульсной сушки изоляции (СИ) увлажненных обмоток асинхронных двигателей общепромышленного и судового (корабельного) исполнения применены мощные силовые симметричные тиристоры (симисторы) отечественного производства. Приведен принцип действия предложенного и внедренного нового автоматического переносного устройства с коммутатором на симисторах для импульсной СИ отсыревших обмоток асинхронных двигателей. Подтверждено, что технологические режимы сушки приемлемы для изоляции электродвигателей, так как коммутационные перенапряжения при использовании отечественных мощных силовых симисторов практически отсутствуют. При установке соответствующего силового блока на симисторах, рассчитанных на большие токи и напряжения, устройство может быть использовано для импульсной СИ увлажненных обмоток асинхронных двигателей любой мощности.

Валентин Приходько,
к. т. н., профессор

prihodki-3@yandex.ru

Ирина Приходько

Введение

В настоящее время в различных отраслях промышленности, на морском и речном транспорте возникает большое количество аварий асинхронных двигателей (АД), связанных с отрицательным воздействием окружающей среды на их изоляционные системы. Высокая влажность и агрессивность окружающей среды способствуют увлажнению изоляции обмоток, постепенному ухудшению ее электрических характеристик, что в конечном итоге приводит к отказам АД.

В научно-технической литературе в достаточной степени изучен физический механизм увлажнения и износа изоляции во влажной агрессивной среде. Установлено, что изоляция увлажняется главным образом в периоды простоя АД во время длительных технологических пауз. Во время работы АД изоляция частично подсушивается рабочими токами, однако при кратковременных режимах работы сопротивление изоляции, как правило, не достигает начального уровня. Изменения сопротивления при увлажнении и сушке носят экспоненциальный характер. По мере старения изоляции увеличивается ее пористость и влагопоглощательная способность. При этом, с каждым новым циклом увлажнения, изоляция впитывает все больше влаги, и все меньше влаги удаляется из нее в рабочий период АД. Это приводит к прогрессирующему снижению сопротивления изоляции и, в конечном итоге, к пробоем ее при очередном пуске АД.

Импульсная сушка изоляции

Для предупреждения таких отказов АД, наряду с повышением влагостойкости изоляционных материалов, требуются эффективные ресурсосбере-

гающие способы сушки отсыревших обмоток АД. Известные в настоящее время традиционные способы и технические средства сушки электрооборудования имеют существенные недостатки: продолжительное время технологического процесса сушки; возможность повреждений изоляционных систем; большие трудовые затраты на проведение сушки; отсутствие автоматического контроля технического состояния изоляции и др. Эти значительные недостатки снижают эффективность профилактической СИ увлажненных обмоток и ограничивают ее практическое применение.

С целью повышения эксплуатационной надежности АД общепромышленного и морского исполнения, работающих в тяжелых условиях окружающей среды, необходима разработка и внедрение эффективного ресурсосберегающего способа сушки и автоматических устройств для его реализации. В рыночной экономике требуется рациональный способ повышения интенсивности токовой СИ отсыревших обмоток АД. Необходимо обосновать его параметры, разработать автоматическое устройство переносного типа для СИ отсыревших обмоток электродвигателей в эксплуатационных условиях и дать практические рекомендации по применению СИ.

Теоретически установлено и экспериментально доказано, что интенсифицировать технологический процесс СИ увлажненных обмоток АД можно применением импульсных режимов нагрева с определенными временными параметрами [1]. Для реализации технологических режимов импульсной СИ отсыревших обмоток АД требуется разработка автоматического портативного устройства, отличающегося от известных традиционных приборов простотой, небольшими габаритами и массой, а также минимальными затратами при эксплуатации на морском и речном транспорте.

На практике предложенные режимы импульсной СИ увлажненных обмоток АД, по сравнению с непрерывной токовой сушкой, обеспечивают уменьшение времени технологического процесса в 1,35–1,65 раза, отсутствие физического явления «распаривания» изоляции, возможность равномерной сушки отсыревших обмоток двигателей как с шестью, так и с тремя выводами без дополнительных переключений.

Способ интенсификации токовой СИ увлажненных обмоток основан на применении нестационарных режимов технологического нагрева АД. Нагрев производится короткими импульсами переменного тока в отсыревших обмотках АД, после которых следуют более длительные бестоковые паузы [1, 2].

Для практической реализации импульсного нагрева достаточно периодически кратковременно подавать полное фазное напряжение на две последовательно соединенные увлажненные обмотки АД. Такая схема подключения отсыревших обмоток к сети обеспечивает допустимые токи нагрева и возможна для АД с шестью и тремя выводами. В течение паузы происходит перераспределение и выравнивание температуры между кратковременно нагретыми увлажненными обмотками АД. В случае выбора оптимальных длительностей пауз происходит достаточное выравнивание температурного поля в увлажненной обмотке без значительного понижения ее средней температуры. В результате этого преобладает положительный физический процесс уменьшения тормозящего воздействия сил термодиффузии, и достигается максимальная интенсивность технологического процесса сушки АД. Интенсивность сушки АД будет за-

висеть от периода (частоты) токовых импульсов [2]. Определена связь длительности сушки АД с периодом импульсов, а также наличие оптимальных периодов, при которых достигается наименьшее время технологического процесса СИ.

Процессы теплообмена в АД при импульсной СИ являются нестационарными и протекают при непрерывном изменении температуры обмоток и других частей электрической машины. Однако, из-за большой собственной теплоемкости активных частей АД, диапазон колебаний температуры в цикле нагрева (импульс–пауза) незначителен. Характер изменения температуры при различных длительностях импульсов нагрева и пауз принципиально аналогичен характеру изменения температуры при токовой СИ с непрерывным нагревом [3, 4], если условно оперировать средней постоянной температурой в цикле. Поэтому представляется возможным для квазистационарных режимов импульсного нагрева (при установившейся средней в цикле температуре) применять известные методы расчета стационарных теплообменных процессов [3–5].

Портативное устройство на симисторах

На мощных силовых симисторах, управляемых электронной системой, разработано инновационное портативное переносное автоматическое устройство для импульсной СИ увлажненных обмоток АД, и изготовлен его опытный образец. Блок-схема портативного устройства приведена на рис. 1. Принципиальная электрическая схема автоматического устройства переносного типа представлена на рис. 2. Устройство на симисторах для импульсной СИ увлажненных обмоток АД выполнено на отечественных элементах энергетической и информационной электроники. АД 1 двумя своими отсыревшими обмотками подключен к одной из фаз питающей судовой (промышленной) сети через симисторный коммутатор (2). К этой же фазе судовой сети подключен входом источник питания (3), от которого подается постоянное стабилизированное напряжение на блок управления (4), блок измерения сопротивления изоляции (5) и блок сравнения (6).

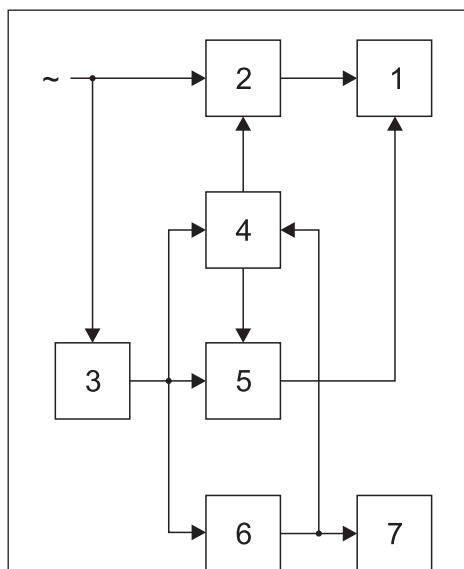


Рис. 1. Блок-схема автоматического устройства для импульсной сушки изоляции асинхронных двигателей на судах: 1 – асинхронный двигатель; 2 – силовой симисторный коммутатор; 3 – источник питания; 4 – блок управления; 5 – блок измерения сопротивления изоляции; 6 – блок сравнения; 7 – элемент сигнализации

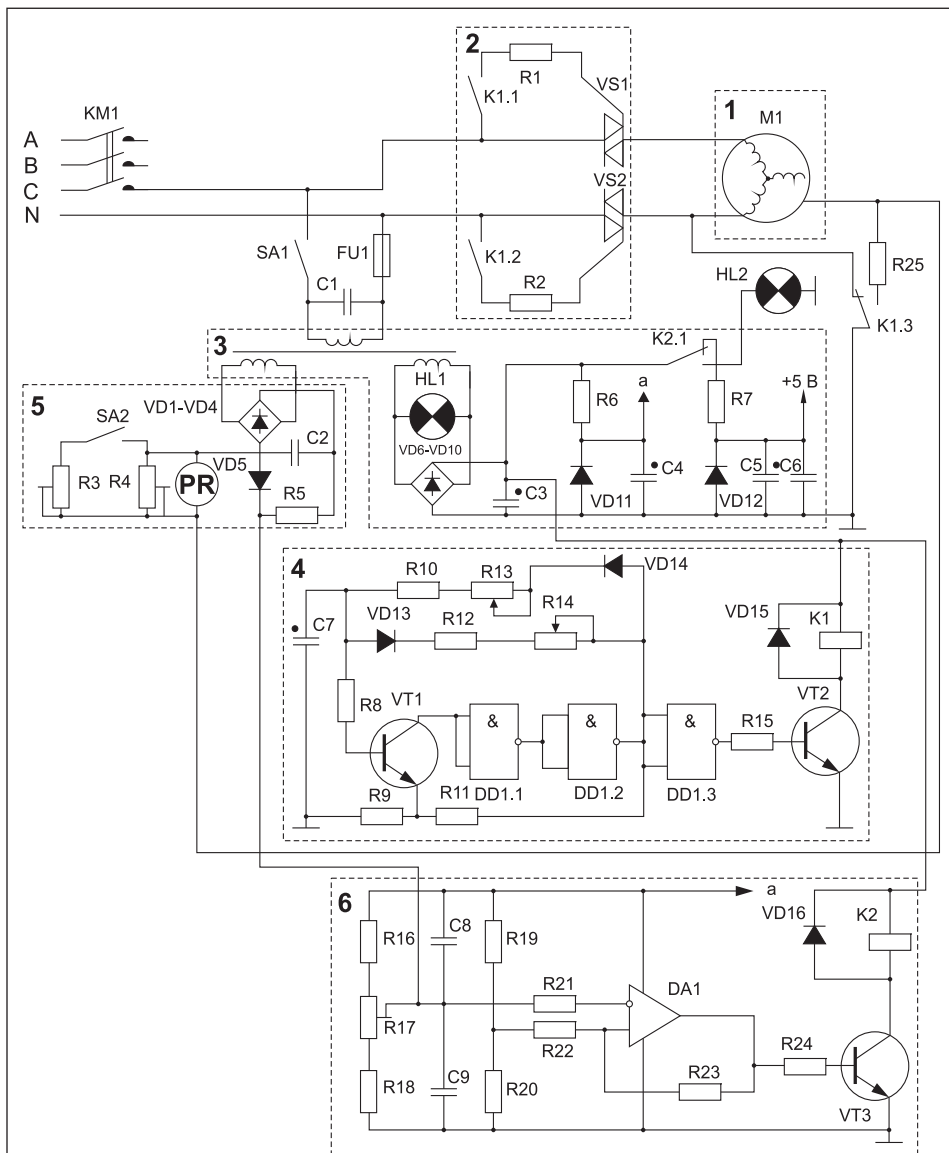


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема портативного переносного устройства для импульсной сушки изоляции на судах

Первый выход блока управления (4) соединен к управляющему входу симисторного коммутатора (2), второй — ко второму входу блока измерения сопротивления изоляции (5). Первый и второй выходы блока измерения сопротивления изоляции (5) соединены, соответственно, с обмотками судового электродвигателя (1) и со вторым входом блока сравнения (6), выход которого, в свою очередь, подключен ко второму входу блока управления (4) и к элементу сигнализации (7).

Рассмотрим рис. 2. Источник питания (3) содержит выпрямительный мост на диодах VD6–VD10 и два простейших параметрических стабилизатора напряжений на стабилитронах VD11, VD12. Блок измерения сопротивления изоляции (5) также имеет диодный мост VD1–VD4 и стабилизатор напряжения на высоковольтном стабилитроне VD5. Измерительное напряжение величиной 130 В подается на корпус судового электродвигателя M1 через микроамперметр PA1, шкала которого проградуирована непосредственно в мегаомах. Прибор имеет два диапазона измерений: 0,5–1 МОм и 0,5–10 МОм, устанавливаемые с помощью переключателя SA2.

Блок управления (4) представляет собой генератор прямоугольных импульсов (ГПИ) на микросхеме DD1 типа К155ЛА3 и транзисторе VT1, имеющий на выходе усилитель на транзисторе VT2 и реле K1. Применение на входе ГПИ транзисторного ключа VT1 обеспечивает достаточно высокую стабильность параметров генерируемых импульсов при изменении напряжения питания и температуры [6]. Другой особенностью ГПИ является разделение цепей разряда и заряда времязадающего конденсатора C7 с помощью токоразветвляющих диодов VD13–VD14. В результате удалось получить практически взаимонезависимую ре-

гулировку длительностей импульса и паузы. Длительность импульса регулируется переменным резистором R14 в пределах 0,3–7 с, длительность паузы — переменным резистором R13 в пределах 3–16 с.

Силовой коммутационный блок (2) выполнен на двух силовых мощных симисторах VS1, VS2 типа TC2-25 класса 5. Цепи управления силовыми симисторами состоят из токоограничительных резисторов R1, R2 и замыкающих контактов реле K1.

Блок сравнения (6) собран на базе операционного усилителя DA1 типа К140УД2А по схеме триггера Шмитта с транзисторным ключом VT3 и реле K2 на выходе. Регулировка порога срабатывания триггера осуществляется переменным резистором R17, нижняя часть которого, совместно с резистором R18, включена в цепь измерения сопротивления изоляции. Чтобы на судах при отключении системы контроля изоляции от обмоток судового электродвигателя (в момент токового импульса) не происходило ложных срабатываний триггера, контакт K1.3 включает в цепь резистор R25, являющийся функциональным аналогом сопротивления изоляции. Конденсаторы C8, C9 осуществляют кратковременное «запоминание» потенциала на входе триггера, что исключает дребезг контактов в момент переключения контакта K1.3.

Устройство подключается к магнитному пускателю KM1 и работает следующим образом. После включения в судовую (промышленную) сеть автоматическим выключателем SA1 загорается сигнальная лампа HL1, от источника питания (3) подается постоянное напряжение на блок управления (4) и блок сравнения (6). Блок управления (4) начинает генерацию импульсов заданных параметров. В момент импульса срабатывает реле K1, и его контакты K1.1, K1.2 за-

мыкают цепи управления силовых симисторов VS1, VS2. Мощные симисторы открываются, и на обмотки электрической машины судового исполнения подается полное синусоидальное напряжение. В результате этого исключается не-синусоидальность электрического тока сушки, свойственная известным тиристорным устройствам [7–17], и устраняются высокочастотные помехи на электронное оборудование судов. Контакт K1.3 на время импульса отключает цепь контроля изоляции от обмоток судового двигателя и подключает ее к резистору R25.

Во время паузы реле K1 обесточено, контакты K1.1 и K1.2 разомкнуты, силовые симисторы VS1 и VS2 закрыты. Сопротивление закрытых мощных симисторов составляет сотни мегаом, поэтому можно считать, что обмотки судового двигателя полностью отсоединены от питающей судовой сети. Через контакт K1.3 на обмотки подается измерительное напряжение, и блок (5) осуществляет контроль изоляции. Блок сравнения (6) производит сравнение величины сопротивления изоляции с заданной уставкой. В случае если сопротивление изоляции достигает необходимого уровня, срабатывает триггер блока (6), реле K2 своим контактом K2.1 отключает стабилизатор напряжения, питающий ГПИ, и включает сигнальную лампу HL2, информирующую оператора из членов судового экипажа или обслуживающего персонала об окончании процесса сушки [18].

Монтаж портативного устройства выполнен на печатной плате. Отдельно в корпусе закреплены силовой трансформатор T1 и мощные симисторы VS1, VS2, установленные на стандартных алюминиевых радиаторах. Органы управления и сигнализации смонтированы на лицевой панели. В целом, устройство выполнено в виде малогабаритного переносного прибора, общий вид которого показан на рис. 3.

При работе с описанным устройством функции обслуживающего персонала или членов экипажа судна минимальны и сводятся к подсоединению, настройке и отсоединению портативного прибора от обслуживаемого двигателя. Однако для своевременного проведения СИ необходим периодический контроль состояния изоляции электрических машин морского исполнения одним из известных способов, что требует привлечения дополнительных технических средств и затрат труда [13–20].

В разработанном инновационном устройстве приняты меры для обеспечения его полной электробезопасности. Применение двух коммутирующих мощных симисторов позволило избежать проникновения в судовую (корабельную) сеть постоянного напряжения во время измерения устройством сопротивления изоляции. Для отключения автоматического стационарного устройства судового исполнения при необходимости проведения работ с АД (техническое обслуживание, замена элементов электроники, ремонт и др.) предусмотрен автоматический выключатель SA1.

Основные технические данные опытного образца разработанного переносного устройства:

- напряжение питания 220 В;
- мощность, потребляемая схемой управления, 12 Вт;



Рис. 3. Лицевая панель с элементами управления и сигнализации портативного устройства для импульсной токовой СИ асинхронных двигателей

- пределы регулирования верхнего уровня сопротивления изоляции 1–60 МОм;
- габариты 240×200×200 мм;
- масса 6 кг;
- мощность обслуживаемых судовых асинхронных двигателей 1,1–15 кВт;
- вероятность безотказной работы 0,92.

Следует отметить, что при установке соответствующего силового симисторного блока в устройстве, оно может быть использовано для СИ судовых (промышленных) асинхронных двигателей любой мощности на объектах и судах различного назначения [19, 20].

Для ряда наиболее распространенных на морском и речном транспорте судовых асинхронных двигателей экспериментально определены оптимальные периоды следования токовых импульсов, при которых достигается максимальная интенсификация технологического процесса СИ. Достоинства разработанного автоматического устройства портативного типа (в совокупности с преимуществами импульсного способа сушки) обеспечивают технико-экономическую эффективность его использования в судовых эксплуатационных условиях [16]. Экономический эффект от внедрения разработанного автоматического устройства достигается, главным образом, за счет сокращения эксплуатационных затрат и составляет 8340 руб. в год на одно портативное переносное устройство на симисторах для сушки изоляционных систем.

Разработанное портативное автоматическое устройство с симисторным силовым блоком обеспечивает эффективное восстановление свойств отсыревшей изоляции асинхронных двигателей в судовых (корабельных) эксплуатационных условиях при минимуме энергетических и трудовых затрат [9].

Внедрение на судах (кораблях) результатов научных исследований позволяет повысить надежность и долговечность асинхронных двигателей, работающих в тяжелых условиях эксплуатации, и сократить эксплуатационные затраты на их техническое обслуживание. Основные результаты исследований используются при разработке новых ресурсосберегающих методов и инновационных технических средств обслуживания асинхронных автоматизированных электроприводов общепромышленного и судового (корабельного) назначения.

Выводы

В эксплуатационных условиях используемые технологические режимы сушки увлажненных обмоток асинхронных двигателей пригодны для изоляции, так как скорость нарастания температуры обмоток за токовый импульс нагрева составляет 0,95–2,65 °C/с, что меньше допустимого значения 3,0 °C/с; кратности тока СИ находятся в допустимых пределах $KI \leq 3,0$; коммутационные перенапряжения при применении отечественных силовых симисторов практически отсутствуют.

Разработано новое автоматическое портативное устройство на мощных силовых симисторах (симметричных тиристорах) для импульсной СИ увлажненных обмоток асинхронных двигателей, отличающееся от извест-

ных простотой, малыми массо-габаритными параметрами и минимальными затратами в эксплуатации.

Следовательно, результатом теоретических и экспериментальных исследований является разработка инновационного переносного устройства с симисторными коммутаторами и практических рекомендаций по повышению эксплуатационной надежности асинхронных двигателей, на основе которых установлено следующее:

- Разработанное устройство на симисторах при достаточной простоте схемного решения, небольших габаритах и массе обеспечивает необходимые режимы импульсной СИ, не создает высокочастотных помех в сети и электропоборозопасно в эксплуатации.
 - Для полной реализации преимуществ импульсной СИ устройство с симисторными коммутаторами при эксплуатации должно настраиваться на оптимальные параметры токовых импульсов.
 - Широкое внедрение устройства на симисторах и практических рекомендаций по импульсной СИ увлажненных обмоток позволит, при минимуме затрат, повысить эксплуатационную надежность АД и (при условии наличия и правильной настройки средств защиты от перегрузок и неполнофазных режимов) довести срок их службы до нормативного.
- Достоинства внедренного опытного образца автоматического устройства с симисторными коммутаторами (в совокупности с преимуществами импульсного способа СИ) обеспечивают технико-экономическую эффективность его применения, а также энергосбережение (более 50%).

Литература

1. Игнатов Д. И. Способ импульсной сушки изоляции электрооборудования судов в судовых эксплуатационных условиях // Материалы VI межвузовской научно-практической конференции аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России» 14 мая 2015 года. СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. 2015.
2. Приходько В. М. Энергосберегающий метод сушки импульсами электрического тока отсыревшей изоляции судового электрооборудования. Автоматизированные системы управления на транспорте: Сб. научных трудов. СПб.: СПбГУВК, 2003.
3. Приходько В. М. Математическое обеспечение для оптимальной сушки изоляции электрооборудования судов по энергосберегающей технологии // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2016. № 42/43.
4. Приходько В. М. Математическое моделирование характеристик сушки судовых асинхронных двигателей. Региональная информатика и информационная безопасность. Сб. трудов. Вып. 1. СПб.: РАН, 2015.
5. Приходько В. М. Математическая модель судовых асинхронных двигателей при сушке

изоляционных систем по энергосберегающей технологии // Морской вестник. 2015. № 2.

6. Дьяконов В. П. Широкодиапазонный автоколебательный мультивибратор на интегральных микросхемах транзисторно-транзисторной логики // Приборы и техника эксперимента. 1976. № 2.
7. А.с. 434540 СССР, МКИЗ НО2К 15/12. Способ сушки изоляции электрической машины в эксплуатационных условиях / Фролов В.А., Горобец А.Н. (СССР) // БИ Открытия и изобретения. 1974. № 24.
8. Кириченко В. Н. Сушка изоляции электродвигателей // Техника в сельском хозяйстве. 1980. № 12.
9. Приходько В. М. Переносной универсальный тиристорный преобразователь с перестраиваемой структурой // Промышленная энергетика. 1999. № 4.
10. Приходько А.М. Универсальный тиристорный преобразователь // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1999. № 4.
11. Приходько В. М. Энергосберегающий универсальный тиристорный преобразователь // Судостроение. 2000. № 1.
12. Приходько В. М. Портативный универсальный тиристорный преобразователь // Наука и техника на речном транспорте. 2000. № 8.
13. Приходько В. М. Компактный универсальный тиристорный преобразователь с перестраиваемой структурой // Наука и техника на речном транспорте. 2001. № 7.
14. Приходько В. М. Судовые полупроводниковые выпрямительные устройства. СПб.: СПГУВК, 2002.
15. Приходько В. М. Судовые силовые полупроводниковые устройства. СПб.: СПГУВК, 2003.
16. Приходько В. Эффективность сушки электрооборудования по энергосберегающей технологии // Речной транспорт (XXI век). 2003. № 4.
17. Приходько В. М. Работоспособность энергосберегающего тиристорного преобразователя. Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на промпредприятиях и ТЭС: Межвуз. сб. науч. тр. ГОУВПО СПбГТУРП. СПб., 2004.
18. Приходько В. М. Влияние сушки током на тепловой износ изоляции судового трансформатора. Морской транспорт. Экспресс-информация. Серия «Техническая эксплуатация флота и судоремонт». М.: ГУП Мортехинформреклама, 2004. Вып. 3(927)–4(928).
19. Приходько В. М. Методы и технические средства комплексных испытаний элементов судовых электроэнергетических систем в судостроении и судоремонте: научная монография / В. М. Приходько. СПб.: ИПЦ СПГУВК, 2005.
20. Приходько В. М. Интенсификация комплексных испытаний судового электрооборудования по энергосберегающей технологии в судостроении и судоремонте: научная монография / В. М. Приходько. СПб.: СПГУВК, 2013.