

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук, профессора Зюзева Анатолия Михайловича
на диссертацию Петухова Александра Владимировича
«Разработка и исследование группового частотно-регулируемого привода с
повышенной устойчивостью к провалам напряжения»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

Представленная к защите диссертационная работа посвящена решению задачи повышения надёжности технологического оборудования с групповым частотно-регулируемым приводом за счёт улучшения его устойчивости к провалам напряжения в питающей сети и устранения их влияния на продолжительность нормального функционирования технологических процессов, что соответствует отраслевым программам развития электротехники в стране.

Ключевыми задачами, решаемыми в диссертационной работе, являются:

1. Исследование штатной схемы электротехнического комплекса с групповым частотно-регулируемым приводом при аварийных режимах питающей сети с использованием авторских программно-аппаратных средств, выявление достоинств и недостатков в существующих устройствах, эксплуатируемых в промышленности, с последующей разработкой способов и устройств для повышения надёжности работы технологического оборудования, оснащённого групповым частотно-регулируемым электроприводом при его работе в условиях нестабильного питающего напряжения;

2. Разработка способа управления электротехническим комплексом с групповым частотно-регулируемым электроприводом для предотвращения его остановок при возникновении провалов напряжения в аварийном режиме питающей сети;

3. Разработка способа ограничения зарядного тока конденсаторов С-фильтра звена постоянного тока, решающего задачу устранения электродинамических ударов в электрооборудовании питающей сети;

4. Разработка технического решения на основе предложенных способов и устройств, решающих задачу повышения устойчивости группового частотно-регулируемого электропривода за счёт сохранения его управляемости при возникновении провала напряжения в питающей сети;

5. Разработка имитационной модели электротехнического комплекса с групповым частотно-регулируемым приводом с учетом предложенных способов и устройств;

6. Исследование электротехнического комплекса с групповым частотно-регулируемым электроприводом с предложенными техническими решениями в различных режимах работы питающей сети.

Актуальность темы диссертации

В настоящее время в промышленности эксплуатируются технологические установки с групповым частотно-регулируемым электроприводом, в которых по условиям технологического процесса не допускается полная остановка приводимых в движение механизмов, но допускается кратковременное снижение их скорости без полной остановки с сохранением управления приводом. При работе системы электроснабжения возможны глубокие провалы напряжения, приводящие к остановке группового частотно-регулируемого электропривода из-за срабатывания защиты от минимального напряжения, предотвращающей перегрузку автономного инвертора напряжения, что нередко приводит к возникновению аварий на производстве. Важность и актуальность представленной работы связаны с решением задачи устранения аварийной остановки технологического оборудования и обеспечения устойчивой работы электротехнических комплексов с частотно-регулируемым приводом при возникновении глубоких провалов напряжения в питающей сети, а также расширением функциональных возможностей системы управления автономным инвертором напряжения, позволяющих повысить надёжность работы электрооборудования в целом.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается корректным применением методов математического моделирования электротехнических систем, теории электрических цепей, теории электропривода, автоматического управления и вычислительного эксперимента, а также научным анализом результатов, полученных в ходе исследований на имитационной модели и физическом макете группового частотно-регулируемого электропривода.

Достоверность полученных результатов, основных научных положений и выводов подтверждается имитационным моделированием, численным экспериментом и результатами исследования, полученными на физическом макете.

Новизна научных результатов, полученных соискателем, заключается в следующем:

1. Разработана система управления электротехническим комплексом с групповым частотно-регулируемым электроприводом, позволяющая исключить его остановку при возникновении провала напряжения в питающей сети;

2. Предложены способы управления электротехническим комплексом с групповым частотно-регулируемым приводом, позволяющие:

– сохранить работоспособность электротехнического комплекса при возникновении провала напряжения в питающей сети;

– ограничить броски тока в транзисторных ключах автономного инвертора напряжения при восстановлении напряжения в питающей сети;

– обеспечить плавный разгон асинхронного двигателя до номинальной скорости после восстановления напряжения в питающей сети;

3. Предложен способ ограничения до номинального значения зарядного тока конденсаторов С-фильтра звена постоянного тока при подключении группового частотно-регулируемого электропривода к питающей сети;

4. Результаты исследования режимов работы электротехнического комплекса с групповым частотно-регулируемым приводом на разработанном специализированном программном комплексе подтвердили возможность практического применения предложенных способов управления в аварийных режимах работы питающей сети.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложены новые способы и устройства для построения системы управления электротехническим комплексом с групповым частотно-регулируемым электроприводом, позволяющие сохранить его работоспособность при возникновении аварийных режимов питающей сети;

2. Разработана математическая модель системы управления электротехническим комплексом с групповым частотно-регулируемым электроприводом;

3. Разработан специализированный программный комплекс системы управления групповым частотно-регулируемым электроприводом для исследования его работы в нормальных и аварийных режимах питающей сети;

4. Новизна технических решений подтверждается свидетельством на программу для ЭВМ, патентами на изобретение и полезную модель.

Результаты научных исследований внедрены в учебный процесс Комсомольского-на-Амуре государственного университета и используются на кафедрах «Электромеханика», «Промышленная электроника и инновационные технологии» при подготовке бакалавров и магистров по направлениям подготовки: 13.05.02 «Специальные электромеханические системы», профиль «Электромеханические системы специальных устройств и изделий»; 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электрооборудование и электроснабжение предприятий»; 11.03.04 «Промышленная электроника», профиль «Электроника и нанoeлектроника», что подтверждается соответствующим актом.

Апробация работы и публикации полученных результатов исследования. Диссертация имеет достаточную степень апробации, основные научные результаты и выводы диссертационной работы представлены на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в семи сборниках трудов и материалах конференций регионального, Всероссийского и международного уровня. В целом результаты исследования опубликованы в 18 научных работах, из них пять статей – в изданиях из перечня ВАК РФ, одна - в издании, входящем в международную систему цитирования Scopus, получено три патента на изобретения и один патент на полезную модель, одно свидетельство на программу для ЭВМ.

Анализ выполненной диссертационной работы. Представленная диссертация состоит из введения, трёх глав с выводами, списка литературы из 103 наименований. Текст диссертации изложен на 137 страницах, из них 136 страниц основного текста, который содержит 61 рисунок и 1 таблицу.

Во введении обоснована актуальность, приведены цель и задачи, научная новизна, практическая и теоретическая значимость работы, указаны положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор существующих групповых частотно-регулируемых электроприводов, рассмотрены их достоинства и особенности эксплуатации, а также оценено влияние аварийного режима питающей сети на их функционирование. По результатам проведённого исследования и анализа особенностей работы преобразователей частоты при провалах напряжения в питающей сети выявлено множество факторов, влияющих на надёжность работы технологического оборудования, оснащённого групповым частотно-регулируемым электроприводом. При рассмотрении влияния аварийных режимов питающей сети на работу преобразователей частоты были выявлены причины остановки технологического оборудования при снижении напряжения в питающей сети ниже допустимого значения. Проведённые исследования влияния провалов напряжения на функционирование группового частотно-регулируемого электропривода позволили определить направление дальнейших исследований, связанных с достижением поставленных целей повышения его устойчивости к провалам напряжения в питающей сети.

Вторая глава посвящена рассмотрению системы питания электротехнического комплекса с групповым частотно-регулируемым приводом с общим звеном постоянного тока, в котором автономные инверторы напряжения объединены по входу с выходом общего выпрямителя. Для проведения исследования влияния провалов напряжения на функционирование группового частотно регулируемого привода разработана имитационная модель скалярной системы управления автономным инвертором, а также определена методика расчёта оптимальных параметров конденсаторов С-фильтра для общего звена постоянного напряжения. На разработанной имитационной модели скалярной системы управления автономным инвертором установлены зависимости влияния различных типов провалов напряжения на работу группового частотно-регулируемого привода. Для устранения влияния аварийного режима питающей сети на работу группового частотно-регулируемого привода предложено увеличить продолжительность управляемости привода за счёт замедления процесса разряда конденсаторов С-фильтра при наличии провала напряжения путём перевода АД в режим генераторного торможения.

В третьей главе представлен и обоснован способ управления автономным инвертором напряжения, направленный на увеличение продолжительности управляемости привода за счёт замедления интенсивности разряда конденсаторов

С-фильтров звена постоянного тока благодаря использованию энергии генераторного торможения. На основе разработанного способа и выражений, описывающих работу системы управления автономным инвертором напряжения, выполнено обоснование возможности сохранения продолжительности управляемости привода и устранения броска тока в транзисторных ключах автономного инвертора напряжения при переходе привода из режима снижения скорости в режим разгона без нарушения синхронизации выходного тока инвертора напряжения и электродвигателя при снижении напряжения в звене постоянного тока по мере разряда конденсатора С-фильтра, а также при быстром его восстановлении. На основе предложенного способа разработана комбинированная система управления автономным инвертором напряжения и имитационная модель, результаты исследований на которой подтвердили возможность повышения устойчивости привода к провалам напряжения в питающей сети при разной его глубине.

Для устранения бросков тока заряда конденсаторов С-фильтра звена постоянного тока предложен способ его ограничения, для реализации которого разработан диодно-реакторный ограничитель тока заряда и создана его имитационная модель для проведения численных экспериментов. Исследования диодно-реакторного ограничителя зарядного тока показали, что предложенное устройство обладает возможностями устранения перенапряжений в звене постоянного тока и электродинамических ударов в электрооборудовании питающей сети и групповом частотно-регулируемом приводе при заряде конденсаторов С-фильтра звена постоянного тока. Результаты исследования диодно-реакторного ограничителя тока заряда конденсатора С-фильтра звена постоянного тока, полученные на имитационной модели, подтверждены данными с физического макета группового частотно-регулируемого электропривода. Проведённые исследования при разных режимах работы питающей сети с вновь введёнными техническими решениями и способами управления подтвердили возможность повышения его устойчивости к провалам напряжения в питающей сети.

В заключении сформулированы полученные результаты и выводы по диссертационной работе.

В приложении представлена копия акта внедрения результатов диссертационной работы в учебный процесс Комсомольского-на-Амуре государственного университета.

Сформулированные в диссертационной работе задачи исследования выполнены, цель диссертационной работы достигнута. Этапы исследования, представленные в работе, в полной мере отражены в соответствующих главах диссертации и сопровождаются достаточным количеством графического и справочного материала.

Диссертация написана технически грамотным языком, имеет логичную и связанную структуру, является завершённой научно-квалификационной работой.

Соответствие автореферата основному содержанию диссертации. Рукопись автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации и представлена в виде краткого описания глав, основных результатов исследования и выводов по работе.

Диссертация и автореферат соответствуют требованиям ГОСТ Р.7.0.11-2011, оформлены в виде рукописи, имеют регламентированную структуру и правильно оформленный список литературы.

Замечания и вопросы по диссертации

1. Вызывает вопрос используемое в работе определение «группового частотно-регулируемого привода», которое не соответствует общепринятой классификации?

2. В диссертационной работе проводились исследования влияния провалов напряжения в питающей сети на устойчивую работу «группового частотно-регулируемого привода». Каковы численные оценки глубины и длительности провалов напряжения, которые способны компенсировать предлагаемые в работе решения, и как они связаны с параметрами электропривода?

3. На функциональных схемах указаны конденсаторы С-фильтра, подключенные параллельно входам автономных инверторов напряжения. Рассматривалась ли возможность применения группового С-фильтра, установленного на выходе общего выпрямителя?

4. Какова эффективность предлагаемых решений при разных нагрузках электродвигателей в группе?

5. Какие преимущества имеются у предложенных в диссертационной работе устройств и способов управления преобразователями частоты электроприводов при провалах напряжения сети в сравнении с известными устройствами для стабилизации напряжения питающей сети?

6. В тексте диссертационной работы показано, что при объединении по входу автономных инверторов напряжения не происходит превышение напряжения на конденсаторах С-фильтра вследствие энергообмена между электродвигателями, работающими в двигательном режиме и режиме генераторного торможения. Каким образом будет обеспечиваться защита конденсаторов С-фильтра от превышения напряжения в случае принудительного перевода всех электродвигателей привода в режим генераторного торможения?

7. Как будет функционировать предложенный электротехнический комплекс при возникновении провалов напряжения, обусловленных нагрузкой на питающую сеть со стороны самого электропривода?

8. В автореферате и диссертации замечен ряд стилистических ошибок, опечаток и нарушений правил пунктуации, затрудняющих восприятие текста.

