

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П.О. СУХОГО»**

УДК 621.316.717:621.311.182

Крышнев Юрий Викторович

**СИСТЕМА АДАПТИВНОГО
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО САМОЗАПУСКА
СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ
УГЛОВОГО УСКОРЕНИЯ**

05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Гомель 2003

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Актуальной задачей промышленной электроэнергетики является обеспечение динамической либо результирующей устойчивости высоковольтных синхронных двигателей (СД) непрерывных производств при кратковременных нарушениях электропитания. Эффективным способом сохранения в работе механизмов после кратковременных исчезновений или провалов питающего напряжения является самозапуск их электродвигателей, требования по обеспечению которого заложены в ПУЭ (раздел 5.3.10).

Типовые схемы электроснабжения промышленных узлов нагрузки от двух независимых источников с использованием штатных схем автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического включения резерва (АВР) не обеспечивают надежного питания электроприемников с синхронными двигателями 6 (10) кВ, так как к моменту срабатывания штатной автоматики двигателя выпадают из синхронизма, и для их ресинхронизации требуется специальное управление. Восстановление исходного технологического режима работы оборудования после этого часто приходится осуществлять с нулевого цикла. К промышленным объектам, на которых перерыв электроснабжения может вызвать частичный или полный срыв сложных технологических процессов, относятся химические и нефтехимические заводы, предприятия добычи, транспорта и переработки нефти, сетевые насосы городских котельных, компрессорные станции и др.

Результаты разработок, проводящихся в настоящее время в области обеспечения группового и поочередного самозапуска синхронных двигателей с гашением их магнитного поля, не гарантируют бесперебойной работы технологических линий с малым критическим временем перерыва питания. Кроме того, групповой самозапуск двигателей с гашением магнитного поля и без предварительной разгрузки механизмов во многих случаях принципиально неосуществим из-за уменьшения остаточного напряжения на общих шинах питания синхронных двигателей.

Эффективным решением проблемы обеспечения группового самозапуска синхронных двигателей узла промышленной нагрузки в условиях непрерывного технологического процесса является применение устройства быстродействующего АВР (БАВР), адаптирующегося к коэффициенту загрузки по активной мощности и электромеханической постоянной времени системы «эквивалентный синхронный двигатель - обобщенный приводной механизм» (ЭСД - ОПМ). Свойство адаптации является необходимым, т. к. в общем случае система ЭСД - ОПМ представляет собой систему с переменными параметрами - в непрерывном технологическом процессе она может включать в себя группу двигателей с приводными механизмами различных типов, работающими с разной загрузкой, а также безынерционную нагрузку произвольного состава. При реализации быстродействующе-

го адаптивного самозапуска угловая скорость синхронных двигателей оказывается лишь незначительно меньше номинальной, что при предварительном соблюдении эксплуатационных режимов обеспечивает сохранение динамической либо результирующей устойчивости СД.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнялась в соответствии с темами научно-исследовательских работ кафедры «Электроснабжение» Учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»: № ГР 1996564 «Разработка способа и устройства самонастраивающегося автоматического включения питания потребителей с комплексной нагрузкой», № ГР 1999820 «Исследование переходных процессов и методов прогнозирования опережающего и синфазного АВР мощных синхронных электродвигателей», х/д № 433 «Исследование, разработка и внедрение устройства быстродействующего АВР синхронных двигателей СТДП-6300 турбокомпрессоров установки этилена-пропилена на ПО «Полимир»» (№ ГР 19983382).

Цель и задачи исследования. Цель работы - разработка системы адаптивного быстродействующего самозапуска комплексной нагрузки с синхронными двигателями напряжением выше 1 кВ на основе измерения углового ускорения выбега обобщенного агрегата.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

- получить зависимости, позволяющие по угловой скорости вращения приводного механизма определять критическое время перерыва питания, приводящего к расстройству непрерывного технологического процесса;
- разработать математическую модель выбега обобщенного агрегата двигатель-механизм и получить в аналитической форме динамические характеристики группового выбега синхронных двигателей с различными типами обобщенного приводного механизма;
- разработать способ адаптивного быстродействующего самозапуска возбужденных синхронных двигателей, предусматривающий обеспечение динамической либо результирующей устойчивости двигателей при использовании серийно выпускаемых высоковольтных коммутационных аппаратов;
- разработать средства быстродействующего определения режима потери питания узла нагрузки с синхронными двигателями;
- изготовить опытный образец системы адаптивного быстродействующего самозапуска синхронной двигательной нагрузки, провести его натурные испытания и внедрить на одном из предприятий с непрерывным технологическим процессом.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются системы управления высоковольтными синхронными двигателями, входящими в состав промышленных предприятий с непрерывным технологическим процессом. Предметом исследования является система адаптивного

быстродействующего самозапуска возбужденных синхронных двигателей, в которой основным информационным и управляющим параметром является угловое ускорение выбега обобщенного агрегата.

Гипотеза. В качестве гипотезы выдвинуто предположение о том, что система адаптивного быстродействующего самозапуска синхронной двигательной нагрузки, использующая принцип прогнозирования располагаемого времени опережающего или синфазного АВР, позволит при использовании серийно выпускаемых высоковольтных коммутационных аппаратов обеспечить динамическую либо результирующую устойчивость мощных синхронных двигателей и, как следствие, бесперебойность работы технологических линий непрерывных производств.

Методология и методы проведенного исследования. Для решения поставленных в работе задач использовались методы дифференциального и интегрального исчисления, комплексного анализа, теории вероятностей и математической статистики. Достоверность полученных выражений и разработанного способа была подтверждена экспериментальными исследованиями режимов выбега СД, проведенными на различных промышленных предприятиях, результатами компьютерного моделирования, а также результатами натурных испытаний опытного образца устройства на предприятиях с непрерывным технологическим процессом.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

- получены соотношения, позволяющие по минимально допустимой угловой скорости вращения агрегата с известной механической характеристикой определять критическое время перерыва питания, приводящего к расстройству непрерывного технологического процесса;

- получены аналитические зависимости для угла, угловой скорости и углового ускорения выбега эквивалентного синхронного двигателя, учитывающие тип обобщенного приводного механизма;

- разработан способ адаптивного быстродействующего самозапуска возбужденных синхронных двигателей, согласно которому для предотвращения возникновения толчков тока включения и высоких вращающих моментов на валу, прогнозируется располагаемое время опережающего или синфазного АВР с учетом текущих параметров технологического режима и типа механической характеристики обобщенного агрегата;

- разработаны устройства измерения скорости снижения частоты ЭДС синхронного двигателя, позволяющие обеспечить высокое быстродействие и необходимую информационную достоверность;

- предложена схема комплексного датчика потери питания синхронной двигательной нагрузки, в которой в качестве информативных величин выбраны скорость снижения частоты напряжения на контролируемой секции шин, направление активной мощности в питающей линии и глубина провала напряжения на контролируемой секции шин.

Полученные результаты способствуют повышению эффективности самозапуска высоковольтных синхронных двигателей с точки зрения сохранения непрерывного технологического процесса.

Практическая и экономическая значимость полученных результатов.

Практическая значимость работы заключается в повышении быстродействия, точности и надежности системы, реализованной на основе способа адаптивного быстродействующего самозапуска, по сравнению с известными устройствами самозапуска СД. Одним из практических результатов может являться сохранение в работе электроприемников, находящихся на нижней ступени напряжения (0,4 кВ) секции шин 6 (10) кВ с синхронными двигателями. Преимущества способа быстродействующего адаптивного самозапуска СД были подтверждены результатами промышленных испытаний и внедрением устройств быстродействующего АВР синхронных двигателей на подстанции «Оснежицы» нефтеперекачивающей станции «Пинск» РУП «Гомельтранснефть Дружба» (СД типа СТД-3150) и на ОАО «Полимир» (СД типа СТДП-6300).

Экономическая значимость работы заключается в предотвращении ущерба от внезапных остановок сложных технологических процессов при кратковременных нарушениях электроснабжения, в экономии электроэнергии, связанной с пусками заторможенных двигателей, а также в экономии средств, определяемых стоимостью ремонта или замены оборудования, поврежденного в результате длительного нарушения динамической устойчивости синхронных двигателей.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. Автором защищаются:

1. Аналитические соотношения, позволяющие по минимально допустимой угловой скорости вращения приводного механизма определять критическое время перерыва питания, приводящего к расстройству непрерывного технологического процесса.

2. Результаты аналитического определения динамических характеристик группового выбега синхронных двигателей с приводными механизмами различных типов.

3. Способ адаптивного быстродействующего самозапуска возбужденных синхронных двигателей с учетом характеристик обобщенного приводного механизма, предусматривающий прогнозирование успешности опережающего или синфазного АВР по начальным параметрам режима нарушения электроснабжения.

4. Средства косвенного измерения углового ускорения выбега обобщенного агрегата, позволяющие обеспечить высокое быстродействие и необходимую информационную достоверность.

5. Схема комплексного датчика потери питания синхронной двигательной нагрузки, в которой в качестве информативных величин выбраны скорость снижения частоты напряжения на контролируемой секции шин,

направление активной мощности в питающей линии и глубина провала напряжения на контролируемой секции шин.

Личный вклад соискателя. Научные и практические результаты диссертации, положения, выносимые на защиту, разработаны и получены лично соискателем или при его непосредственном участии.

Апробация результатов диссертации. Материалы диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на:

- II международной научно-технической конференции «Современные методы цифровой обработки сигналов в системах измерения, контроля, диагностики и управления» (г. Минск, 1998 г.);

- II международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиноведения» (г. Гомель, 1998 г.);

- международной научно-технической конференции «Современные направления развития производственных технологий и робототехника» (г. Могилев, 1999 г.);

- III международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиноведения» (г. Гомель, 2000 г.);

- IV международной научно-технической конференции «Современные проблемы машиноведения» (г. Гомель, 2002 г.);

- международной научно-технической конференции «Метрологическое обеспечение качества - 2002» (г. Минск, 2002 г.).

Опубликованность результатов. Результаты выполненных исследований опубликованы в двух статьях в журнале «Энергетика. (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ)», в одной статье в журнале «Энергия и менеджмент», в одной статье в журнале «Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого», в одной статье в сборнике научных работ студентов вузов РБ, в шести статьях материалов международных конференций, в одном сборнике тезисов докладов. Получено решение на выдачу патента Республики Беларусь. Всего объем опубликованных материалов составляет 49 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 206 страниц, из которых 41 страница занята 17 таблицами и 40 рисунками, 10 страниц - списком использованных источников (143 наименования) и 46 страниц - приложениями.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко рассмотрено современное состояние проблемы обеспечения самозапуска электродвигателей, входящих в состав узла нагрузки промышленного предприятия, а также приведен ряд конкретных

примеров, подчеркивающих необходимость проведения научно-исследовательских работ в данной области.

В общей характеристике работы обоснована актуальность выбранной темы, изложены методология и методы проведенного исследования, указаны научная, практическая и экономическая значимость полученных и ожидаемых результатов, сформулированы цель и задачи исследования.

В первой главе проведен анализ существующих нормативных требований к противоаварийной автоматике систем электроснабжения промышленных предприятий с непрерывным технологическим процессом, сформулированы условия успешности быстродействующего группового самозапуска СД, произведен обзор современных разработок в области самозапуска синхронных двигателей и определен предмет исследования.

Рассмотрены практические трудности в согласовании известных способов самозапуска СД 6 (10) кВ с алгоритмами работы штатных устройств релейной защиты и автоматики распределительных подстанций, питающих узел синхронной двигательной нагрузки. Сделан вывод, что за счет быстрого прогнозирования допустимого времени, в течение которого возможно удержание СД в синхронизме или его успешная ресинхронизация, способ адаптивного быстродействующего самозапуска синхронных двигателей является наиболее эффективным по условиям: 1) обеспечения бесперебойности технологических процессов; 2) согласования с алгоритмами работы штатных устройств противоаварийной автоматики. Показано, что, успешно решая основную задачу обеспечения быстродействующего самозапуска СД 6 (10) кВ при повреждениях со стороны питающей линии, можно во многих случаях также обеспечить удовлетворительное электроснабжение вспомогательных механизмов 0,4 кВ, питающихся от одной секции шин с СД, предотвращая возможное отключение СД по технологическим блокировкам.

Произведен аналитический обзор известных способов самозапуска узла промышленной нагрузки с синхронными двигателями. Отмечено, что в отраслях промышленной электроэнергетики стран Евросоюза и США проблема обеспечения самозапуска СД в целом не актуальна, что в данных странах обусловлено относительно редким использованием СД для привода механизмов технологических комплексов. По результатам проведенного аналитического обзора работ, проводимых в странах СНГ, определено, что типового решения по обеспечению самозапуска СД в настоящее время не существует и выделены две основные группы работ, в которых рассматриваются способы самозапуска с гашением и без гашения магнитного поля СД. Для первой группы работ установлено, что алгоритмы оптимального управления системой возбуждения нагруженного СД на этапах разгона и

вхождения в синхронизм имеют значительные отличия и, кроме того, сопряжены с существенными техническими трудностями и ограничениями. С этой точки зрения, а также с учетом возможности поддержания требуемых технологических параметров агрегатов и снижения требований к мощности источника питания, предпочтительными являются быстродействующие способы реализации группового самозапуска СД без гашения их магнитного поля и без разгрузки приводных механизмов.

Определены условия успешности группового быстродействующего самозапуска, в совокупности ограничивающие допустимые интервалы времени подачи питающего напряжения на выбегающий ЭСД:

- допустимое время перерыва питания технологической линии;
- допустимые диапазоны времени, в течение которых величины тока включения и электромагнитного вращающего момента включения не могут вызвать повреждения конструкции синхронных двигателей;
- допустимое время, в течение которого величина вращающего момента ответственных СД превышает значение момента сопротивления приводимых ими механизмов по условию удержания данных СД в синхронизме или успешной ресинхронизации.

Сделан вывод о том, что принципиальным преимуществом способа самозапуска с прогнозированием допустимых интервалов времени включения ЭСД является возможность автоматического выбора оптимального алгоритма работы в аварийных условиях с учетом существующего технологического режима: быстродействующее АВР, поочередный самозапуск с гашением поля СД, автоматический повторный пуск агрегата, опережающее отключение СД.

Во второй главе в аналитической форме получены временные зависимости угла, угловой скорости и углового ускорения выбега ЭСД с приводными механизмами различных типов, определены диапазоны допустимых углов включения ЭСД на резервное питание при адаптивном быстродействующем АВР с учетом характеристик приводных механизмов, представлены результаты обработки экспериментальных данных опытов свободного выбега СД.

Для обеспечения необходимого быстродействия и надежности способа адаптивного быстродействующего самозапуска СД в качестве основного информативного критерия группового выбега синхронных двигателей была выбрана динамика изменения угла поворота ротора ЭСД.

На основе анализа системы дифференциальных уравнений электро-механических переходных процессов Парка-Горева, описывающей групповой выбег СД, было составлено дифференциальное уравнение (1), кото-

рое связывает момент сопротивления обобщенного приводного механизма с изменением угловой скорости вращения ротора ЭСД на этапе выбега. В данном уравнении момент сопротивления обобщенного приводного механизма и угловая скорость вращения ротора представлены в относительных единицах соответственно приведенного номинального момента $M_{ном}$ на валу ЭСД и синхронной угловой скорости ω_0 ЭСД:

$$-m_{мех} = m_0 + (k_{мэ} - m_0) \sum_{i=1}^6 \beta_i \omega^i = \tau_{jэ} \frac{d\omega}{dt}, \quad (1)$$

где $m_{мех}$ – эквивалентный момент сопротивления обобщенного механизма; ω – угловая скорость вращения ротора ЭСД; m_0 – эквивалентный начальный момент сопротивления ОПМ (при $\omega = 0$); $k_{мэ}$ – эквивалентный коэффициент загрузки ЭСД по активной мощности при синхронной угловой скорости; i – показатели степени зависимости момента сопротивления ОПМ от угловой скорости ω (зависимость представлена в виде аппроксимирующего ряда Тейлора с разложением до ω^6); β_i – весовые коэффициенты при разных степенях угловой скорости ω ; $\tau_{jэ}$ – эквивалентная электро-механическая постоянная времени системы ЭСД – ОПМ; t – время выбега.

Анализ, проведенный с учетом встречающихся на практике сочетаний приводных механизмов синхронных двигателей 6 (10) кВ, показал, что при асинхронном скольжении ЭСД $s \leq 0,25$ уравнение (1) в абсолютном большинстве случаев может быть представлено в виде (2), в котором момент сопротивления ОПМ зависит от угловой скорости вращения ротора ЭСД в единственной (преобладающей либо усредненной) степени γ , находящейся в диапазоне действительных чисел от 0 до 6:

$$-m_{мех} = m_0 + (k_{мэ} - m_0) \omega^\gamma = \tau_{jэ} \frac{d\omega}{dt}. \quad (2)$$

В результате решения уравнения (2) относительно времени выбега t для всех целых значений параметра γ из множества чисел $[0 \dots 6]$ получены соотношения, позволяющие по приведенной к валу ЭСД минимально допустимой угловой скорости вращения агрегата с известной механической характеристикой определять критическое время перерыва питания, приводящего к расстройству непрерывного технологического процесса. Например, в случае, если значение параметра $\gamma = 6$, что характерно для некоторых механизмов насосной группы, зависимость времени перерыва питания от угловой скорости имеет вид:

$$t = \frac{\tau_{j\varnothing}}{k_{M\varnothing} - m_0} \left[\ln \left(\frac{(1 + k_6\sqrt{3} + k_6^2)(\omega^2 - \omega k_6\sqrt{3} + k_6^2)}{(1 - k_6\sqrt{3} + k_6^2)(\omega^2 + \omega k_6\sqrt{3} + k_6^2)} \right)^{\frac{1}{4\sqrt{3}k_6^5}} + \right. \\ \left. + \frac{1}{6k_6^5} \left(2\operatorname{arctg} \frac{1}{k_6} + \operatorname{arctg} \frac{2 - k_6\sqrt{3}}{k_6} + \operatorname{arctg} \frac{2 + k_6\sqrt{3}}{k_6} - \right. \right. \\ \left. \left. - 2\operatorname{arctg} \frac{\omega}{k_6} - \operatorname{arctg} \frac{2\omega - k_6\sqrt{3}}{k_6} - \operatorname{arctg} \frac{2\omega + k_6\sqrt{3}}{k_6} \right) \right], \quad (3)$$

где $k_6 = \left(\frac{m_0}{k_{M\varnothing} - m_0} \right)^{\frac{1}{6}}$ – коэффициент, зависящий от параметров m_0 и $k_{M\varnothing}$.

Для возможности прогнозирования значений угловой скорости ω и угла выбега δ эквивалентного СД во времени, были найдены решения дифференциального уравнения (2) относительно угловой скорости ω . Для механизмов с параметром $\gamma = 0, 1$ и 2 решения были получены аналитически строго, а для механизмов с другим значением параметра γ – приближенно, при помощи следующих способов:

– способ 1, использующий полученные для всех целых γ решения уравнения (2) в виде $t(\omega)$, с разложением находящихся в правой части аналитических функций аргумента ω в ряд Тейлора в окрестности точки ω_0 ;

– способ 2, использующий последовательное нахождение коэффициентов аппроксимирующего полинома, представляющего собой разложение функции ω в ряд по степеням t .

Было установлено, что результат решения с использованием первого способа, обеспечивающий лучшее приближение к истинным характеристикам выбега (по сравнению с результатом, полученным с использованием второго способа), может быть представлен в универсальном виде по отношению к параметру γ , характеризующему тип обобщенного механизма:

$$\omega(t) = \frac{\omega_0}{\gamma(1 - m'_0)} \left(\gamma + 1 - \gamma m'_0 - \sqrt{1 + 2\gamma \frac{k_{M\varnothing}}{\tau_{j\varnothing}} t (1 - m'_0)} \right), \quad (4)$$

где $m'_0 = m_0/k_{M\varnothing}$ – относительный начальный момент сопротивления ОПМ.

Закон изменения угла δ между векторами напряжения сети \underline{U}_c и ЭДС $\underline{E}_{дв}$ эквивалентного СД с учетом выражения (4) также был получен в универсальном виде по отношению к любому значению γ из диапазона действительных чисел $0 \dots 6$:

$$\delta(t) = \omega_0 t - \int \omega(t) dt + \delta_0 = \omega_0 t - \frac{\omega_0}{\gamma(1-m'_0)} \times \\ \times \left[(\gamma + 1 - \gamma m'_0) t - \frac{\tau_{j\varepsilon}}{3\gamma(1-m'_0)k_{m\varepsilon}} \left(\left(1 + 2\gamma \frac{k_{m\varepsilon}}{\tau_{j\varepsilon}} t (1-m'_0) \right)^{\frac{3}{2}} - 1 \right) \right] + \delta_0, \quad (5)$$

где δ_0 – начальный угол рассогласования векторов \underline{U}_c и $\underline{E}_{\delta v}$.

Для удобства анализа динамики группового выбега СД при «плавающих» составе нагрузки и загрузке приводных механизмов целесообразно использовать угловое ускорение выбега ε , определяемое как производная угловой скорости ротора ЭСД на этапе выбега. По результатам дифференцирования строгих и приближенных аналитических выражений для угловой скорости ω установлено, что в начальный момент времени после потери питания ЭСД угловое ускорение выбега ε_0 определяется по формуле (6) и не зависит от типа механической характеристики γ приводного механизма:

$$\varepsilon_0 = \left. \frac{d\omega(t)}{dt} \right|_{t=0} = -\omega_0 \frac{k_{m\varepsilon}}{\tau_{j\varepsilon}}. \quad (6)$$

Способ адаптивного быстродействующего самозапуска СД предусматривает возможность прогнозирования допустимых интервалов времени включения возбужденного СД на питающее напряжение. С учетом этого функции угловой скорости ω и угла выбега δ ЭСД представлены в параметрической зависимости от величины модуля начального углового ускорения агрегата ε_0 , измеряемой быстродействующим датчиком потери питания СД:

$$\omega(t) = \frac{\omega_0}{\gamma(1-m'_0)} \left(\gamma + 1 - \gamma m'_0 - \sqrt{1 + 2\gamma \frac{\varepsilon_0}{\omega_0} t (1-m'_0)} \right); \quad (7)$$

$$\delta(t) = \omega_0 t - \frac{\omega_0}{\gamma(1-m'_0)} \left[(\gamma + 1 - \gamma m'_0) t - \frac{\omega_0}{3\gamma(1-m'_0)\varepsilon_0} \left(\left(1 + 2\gamma \frac{\varepsilon_0}{\omega_0} t (1-m'_0) \right)^{\frac{3}{2}} - 1 \right) \right] + \delta_0. \quad (8)$$

Следует отметить, что выражения (7) и (8) достаточно точно описывают законы изменения угловой скорости и угла выбега механизмов различных типов (относительная ошибка в определении угла выбега за один полный проворот ротора ЭСД относительно вектора \underline{U}_c не превышает 6,42 %). Для механизмов с постоянным моментом сопротивления исходное

требование принять в выражениях (7) и (8) значение $\gamma = 0$ невыполнимо, однако вычислительный эксперимент показал, что удовлетворительное приближение получается при подстановке любого значения $\gamma \leq 0,01$.

Согласно способу адаптивного быстродействующего самозапуска СД прогнозируется возможность реализации опережающего АВР (ОАВР) с сохранением динамической устойчивости ЭСД при угле выбега, не превышающем критическое значение $\delta_{кр}$, или синфазного АВР (САВР) с сохранением результирующей устойчивости ЭСД при угле выбега, близком к 360° . Прогноз осуществляется на начальном этапе выбега обобщенного агрегата по результатам косвенного измерения быстродействующим датчиком величины начального углового ускорения выбега ε_0 . Располагаемое время опережающего АВР либо синфазного АВР при определенном значении углового ускорения ε_0 рассчитывается путем численного решения относительно времени t уравнения (8) для угла выбега ЭСД δ , равного, соответственно, $\delta_{кр}$ или 360° . При этом значения величин γ и m'_0 , входящие в расчетную формулу (8), задаются как уставки в некотором усредненном виде. Величины этих уставок выбираются по условию минимизации модуля возможной ошибки прогноза по углу включения.

В работе рассмотрены особенности реализации адаптивного быстродействующего самозапуска с точки зрения безопасности для конструкции СД. Показано, что величина тока включения при быстродействующем самозапуске одиночного мощного СД может достичь критически большой величины, которая, помимо угла выбега δ , зависит также от асинхронного скольжения s эквивалентного СД. При функциональной аппроксимации табличных кратностей пусковых токов, соответствующих определенным скольжениям, с последующим усреднением по разным типам СД, огибающая периодической составляющей тока включения представляется в виде:

$$I_{вкл}^*(t) = 0,155 \left[7,17s(t)^{\frac{1}{3}} - 0,065 \ln s(t) \right] \cdot \sqrt{2(1 - \cos \delta(t))}, \quad (9)$$

где $I_{вкл}^*$ – ток включения СД, в отн. ед. пускового тока; $s(t)$ и $\delta(t)$ – аналитические зависимости асинхронного скольжения и угла выбега ЭСД.

На рис. 1 показаны характеристики $I_{вкл}^*(t)$ (в отн. ед. пускового тока) для различных значений начального углового ускорения выбега агрегата с постоянным моментом сопротивления. Решение уравнения $dI_{вкл}^*(t)/dt=0$ в диапазоне времени до второй синфазности векторов \underline{U}_C и $\underline{E}_{\delta\omega}$ позволяет найти максимально возможные токи включения СД при быстродействующем АВР и соответствующие им моменты времени.

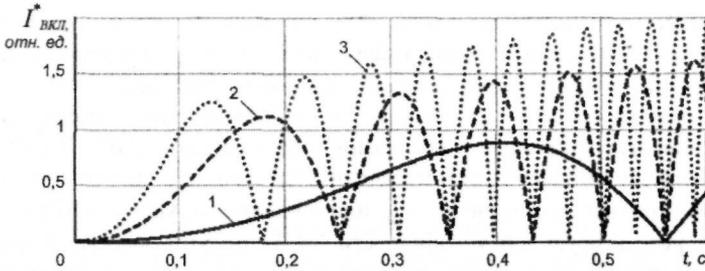


Рис. 1. Графики огибающих периодической составляющей тока включения СД при БАВР (приводной механизм с постоянным моментом сопротивления): 1 — при $a_0 = 40 \text{ рад/с}^2$; 2 — при $a_0 = 200 \text{ рад/с}^2$; 3 — при $a_0 = 400 \text{ рад/с}^2$

С учетом недопустимости несинхронного включения СД по условиям тока включения и электромагнитного момента включения сделан следующий вывод: для обеспечения безопасности двигателей в режиме быстродействующего самозапуска переключение на резервное питание следует производить в моменты времени, когда угол δ между векторами \underline{U}_c и \underline{E}_{dv} составляет $0 \dots 105^\circ$ — при ОАВР или $261 \dots 465^\circ$ — при САВР (рис. 2).

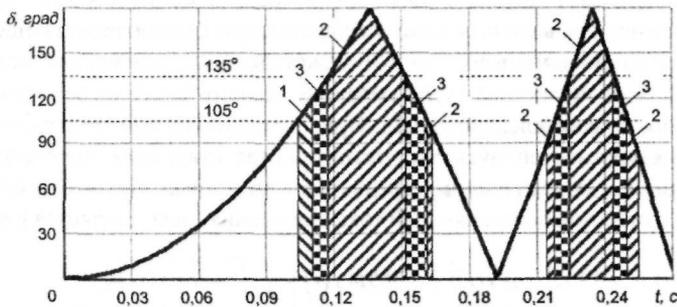


Рис. 2. Угол вылета ЭСД при максимальном угловом ускорении $a_0 = 400 \text{ рад/с}^2$ с указанием недопустимых зон несинхронного включения: 1 — по условию величины электромагнитного вращающего момента; 2 — по условию величины тока включения; 3 — по условиям величины тока и электромагнитного момента

Для проверки адекватности предложенной математической модели вылета обобщенного агрегата двигатель-механизм была произведена обработка экспериментальных данных (осциллограмм) опытов одиночного и группового вылета СД мощностью от 3150 до 6300 кВт с различными приводными механизмами. Указанные опыты были нами проведены в течение

ряда лет на промышленных предприятиях с непрерывным технологическим процессом – нефтеперекачивающих станциях (НПС) «Кузнецк», «Новозыбков», «Великоцк», Белорусском газоперерабатывающем заводе (БГПЗ, г. Речица), химическом комбинате ОАО «Полимир» (г. Новополоцк), РУП «Гомельтранснефть «Дружба»» (НПС «Пинск»). Результаты обработки экспериментальных данных представлены в табл. 1 (через σ обозначены среднеквадратические погрешности отклонения опытных данных от результатов расчета угла выбега по аналитической зависимости (8), в которой оценочные значения параметров $\hat{\gamma}$, $\hat{\varepsilon}_0$, $\hat{\delta}_0$ и \hat{m}'_0 определялись согласно методу наименьших квадратов).

Таблица 1

Результаты обработки экспериментальных данных опытов выбега синхронных двигателей 6 (10) кВ

Номер опыта	Параметры аналитической зависимости для угла выбега $\delta(t)$				Среднеквадратическая погрешность	
	$\hat{\gamma}$	$\hat{\varepsilon}_0, \text{ рад/с}^2$	$\hat{\delta}_0, \text{ град.}$	\hat{m}'_0	$\sigma, \text{ град.}$	$\sigma, \%$
1	1,91	89,58	20,18	0,08	20,85	5,79
2	2,37	163,54	-13,29	0,13	24,22	6,73
3	1,80	232,33	17,10	0,08	22,49	6,25
4	1,67	156,13	-17,93	0,12	31,34	8,71
5	2,79	151,12	19,30	0,09	22,04	6,12
6	2,35	147,88	18,84	0,08	21,78	6,05
7	2,42	178,14	17,83	0,08	21,27	5,91
8	2,08	45,36	44,27	0,07	34,89	9,69
9	2,17	30,87	40,61	0,08	17,61	4,89
10	2,68	22,54	26,13	0,09	24,75	6,74
11	2,57	52,14	16,81	0,09	18,05	5,01
12	3,46	133,17	12,49	0,09	13,19	3,66
13	3,61	139,16	13,47	0,09	18,58	5,16
14	3,59	141,57	16,52	0,08	18,18	5,05

В третьей главе рассмотрены средства быстродействующего измерения углового ускорения вектора ЭДС синхронных двигателей на этапе выбега, разработана схема комплексного датчика потери питания синхронной двигательной нагрузки, а также схема и алгоритм работы системы адаптивного быстродействующего самозапуска синхронной двигательной нагрузки.

Для выявления режима потери питания группы синхронных двигателей целесообразно производить измерение величины скорости снижения

частоты (ССЧ) ЭДС эквивалентного СД ε_{e0} , пропорциональной начальному угловому ускорению выбега ε_0 :

$$\varepsilon_{e0} = \frac{\varepsilon_0}{2\pi}. \quad (10)$$

Диапазон возможных значений ССЧ при выбеге высоковольтных СД составляет 6...65 Гц/с, что позволяет отличить режим выбега от режимов качаний в энергосистеме и дефицита (избытка) активной мощности, при которых ССЧ не превышает 5 Гц/с. Анализ показал, что при измерении величины ε_{e0} с погрешностью не более 5 % ошибка прогноза по углу синфазного включения СД на резервный источник не превышает 19°. Были рассмотрены четыре измерительные схемы определения скорости снижения частоты: 1) на основе сравнения длительностей смежных полупериодов сигнала $E\delta\omega$; 2) на основе сравнения длительностей соответствующих полупериодов сигналов Uc и $E\delta\omega$; 3) на основе формирования ортогональных составляющих (ОС) информационных сигналов Uc и $E\delta\omega$; 4) на основе перемножения ОС информационных сигналов Uc и $E\delta\omega$. Оптимальной по быстродействию и надежности была признана схема определения ССЧ на основе перемножения ОС информационных сигналов (рис. 3), согласно которой величина ССЧ определяется по дискретным отсчетам фазового сдвига между сигналами Uc и $E\delta\omega$:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{e0} &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\delta_{i+2} - 2\delta_{i+1} + \delta_i}{2\pi\Delta t^2}, \\ \delta_i &= \begin{cases} \arctg \left[\frac{U_{\text{ФНЧ}3\ i}}{U_{\text{ФНЧ}2\ i}} \right], & \text{if } \text{sign}U'_{\text{ФНЧ}2} = \text{sign}U'_{\text{ФНЧ}1}, \\ \arctg \left[\frac{U_{\text{ФНЧ}1\ i}}{U_{\text{ФНЧ}2\ i}} \right], & \text{if } \text{sign}U'_{\text{ФНЧ}2} = \text{sign}U'_{\text{ФНЧ}3}, \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где $U_{\text{ФНЧ}1\ i}$, $U_{\text{ФНЧ}2\ i}$, $U_{\text{ФНЧ}3\ i}$ – текущие отсчеты сигналов на выходах соответствующих ФНЧ ($i = 1, 2, 3$); $U'_{\text{ФНЧ}1}$, $U'_{\text{ФНЧ}2}$, $U'_{\text{ФНЧ}3}$ – производные выходных сигналов ФНЧ; δ_i – текущие отсчеты фазового сдвига между сигналами Uc и $E\delta\omega$; N – число отсчетов; Δt – время дискретизации отсчетов.

Величина ССЧ определяется за время 30 мс как среднее значение информационных отсчетов, фиксируемых при времени дискретизации $\Delta t = 0,5$ мс. Для отстройки от апериодической и высокочастотных составляющих входных сигналов был разработан полосно-пропускающий фильтр 4-го порядка с единичным коэффициентом передачи и постоянным временем задержки сигнала в диапазоне частот 45...50 Гц.

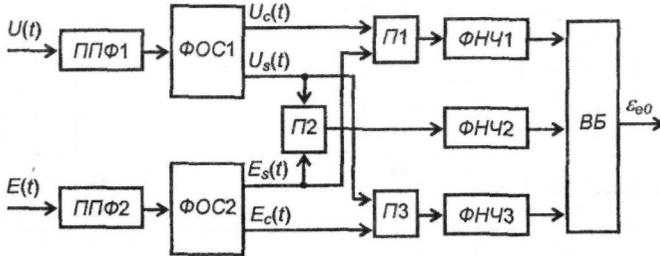


Рис. 3. Функциональная схема определения скорости снижения частоты на основе перемножения ортогональных составляющих (ОС) информационных сигналов: ППФ – полосно-пропускающий фильтр; ФОС – формирователь ОС; П – перемножитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; ВБ – вычислительный блок; $U_s(t)$, $U_c(t)$ – синусная и косинусная ОС сигнала U_c ; $E_s(t)$, $E_c(t)$ – синусная и косинусная ОС сигнала $E_{\delta 0}$

В разработанном комплексном датчике потери питания (КДПП), показанном на рис. 4, обнаружение аварийного режима осуществляется по трем измерительным каналам: по скорости снижения частоты напряжения на секции шин (блок А1), по глубине провала напряжения на секции шин (блок А2) и по направлению активной мощности в питающей линии (блок А3). Логика работы КДПП позволяет выявить два основных вида нарушений электроснабжения в питающей сети: режим ложного отключения питающей линии и режим короткого замыкания со стороны питающей линии. Запуск реле времени РВ осуществляется только при наличии значительного реверса мощности в питающей линии, а при одновременной фиксации провала напряжения на секции шин до величины менее 50 % номинального напряжения (т. е. $0,5U_{ном}$) уставка РВ сокращается с 0,2 с до 0,04 с.

Система адаптивного быстрого действия (СБС) синхронной двигательной нагрузки показана на рис. 5. Две секции шин В1 и В2, объединенные нормально отключенным секционным выключателем Q3, получают питание через вводные выключатели Q1 и Q2 от двух независимых линий. К секциям шин подключены высоковольтные СД и прочая промышленная нагрузка (на рис. 5 условно показаны в виде ЭСД МГ1 и МГ2). Комплексные датчики потери питания (КДПП1 и КДПП2) подключены к секциям шин В1 и В2 через измерительные трансформаторы напряжения ТУ1, ТУ2 и измерительные трансформаторы тока ТА1, ТА2. Вычислительно-управляющий блок, получая информацию о режиме питающих линий от КДПП1 и КДПП2, осуществляет функции вычисления располагаемого времени БАВР и управляет отключением выключателя Q1 (либо Q2) и включением секционного выключателя Q3 (взаимное резервирование секций шин В1 и В2).

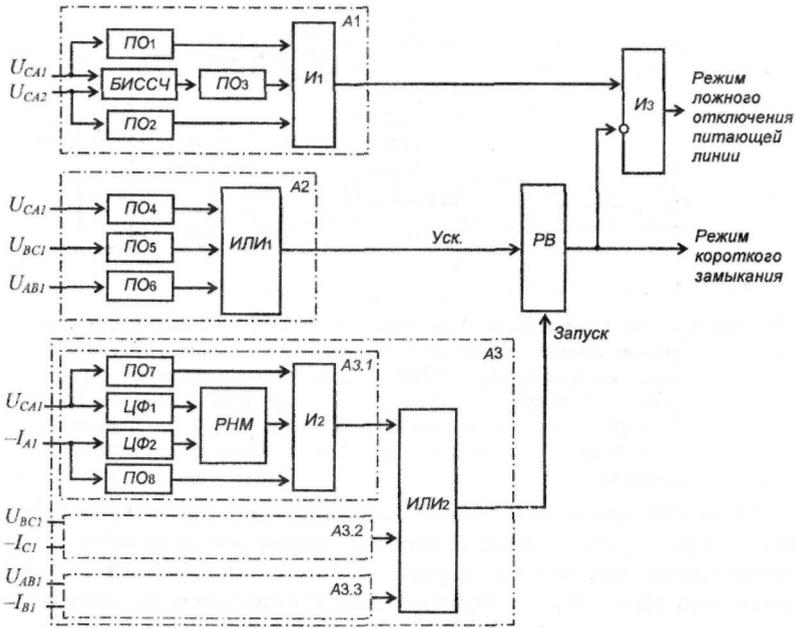


Рис. 4. Структурная схема КДПП синхронной двигательной нагрузки: БИССЧ – блок измерения ССЧ; ПО₁, ПО₂, ПО₄...ПО₇ – пороговые органы напряжения; ПО₃ – пороговый орган ССЧ; ПО₈ – пороговый орган тока; ЦФ₁, ЦФ₂ – цифровые полосовые фильтры; РНМ – реле направления мощности; РВ – реле времени; И, ИЛИ – логические элементы

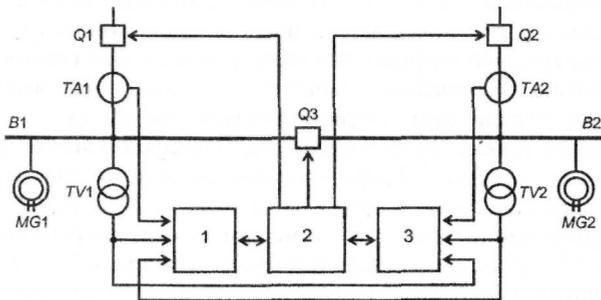


Рис. 5. Система адаптивного быстродействующего самозапуска синхронной двигательной нагрузки: 1, 3 – комплексные датчики потери питания (КДПП) секций шин В1 и В2; 2 – вычислительно-управляющий блок (ВУБ)

В четвертой главе рассмотрены вопросы практического применения системы адаптивного быстродействующего самозапуска синхронных двигателей, сформулированы технические требования к устройству быстродействующего АВР синхронных двигателей 6 (10) кВ.

Времена t_u измерения датчиком величины ССЧ и вычисления t_g являются известными величинами, а от того насколько известно и стабильно время переключения коммутационных аппаратов t_n , по существу зависит надежность устройства БАВР в целом. Анализ показал, что система адаптивного быстродействующего самозапуска СД при соответствующей корректировке уставок может работать с большинством типов эксплуатируемых высоковольтных выключателей 6 (10) кВ. Однако для повышения вероятности успешного БАВР при высоких значениях ССЧ или при замедлении срабатывания датчика потери питания предпочтительно использовать быстродействующие вакуумные и элегазовые выключатели с временами включения и отключения не более 70 мс.

Устройства БАВР, выполненные по рассмотренному принципу, проходили испытания на подстанциях предприятий с непрерывным технологическим процессом и по их результатам вводились в эксплуатацию.

На рис. 6 а представлена осциллограмма испытания устройства БАВР на Белорусском газоперерабатывающем заводе (БГПЗ) 12.06.1997 г. Синхронный двигатель СД1 номинальной мощностью 3700 кВт газокompрессорного агрегата, работающего на замкнутый контур, был подключен ко 2-ой секции шин 6 кВ. После отключения вводного выключателя 2-ой секции шин время выбега СД1 до первого проворота ротора относительно вектора напряжения сети составило 0,56 с, а начальное угловое ускорение выбега e_0 - 47,1 рад/с². Секционный выключатель (СВ) включился в момент точного совпадения векторов $E_{дв}$ и U_c (синфазное АВР); время втягивания двигателя в синхронизм составило 0,24 с, а провал напряжения на секциях шин при этом не превысил 7 % от номинального значения.

На рис. 6 б представлена осциллограмма испытания устройства БАВР на ПО «Полимир» 24.07.2000 г. Перед испытанием в работе находились турбокомпрессоры В-1 и В-2 типа К405-121-1 с загрузкой 0,77 и 0,63, соответственно. Для привода обоих турбокомпрессоров использовались синхронные двигатели СТДП-6300 мощностью 6300 кВт, получающие питание от разных секций рабочей системы шин. После отключения линейного выключателя, питающего секцию шин с синхронным двигателем СД1 привода турбокомпрессора В-1, устройство БАВР успешно сработало, и турбокомпрессоры В-1 и В-2 остались в работе. Время выбега двигателя СД1 до первого проворота ротора относительно вектора напряжения сети составило 0,54 с, а начальное угловое ускорение выбега e_0 - 50,24 рад/с². Включение СД1 на резервный источник питания произошло через 0,584 с после потери питания, т. е. отклонение от идеальной синфазности составило 44 мс (7,36 %). Время вхождения двигателя в синхронизм (время само-

запуска) составило 0,25 с; при самозапуске на секциях шин 6 кВ имел место провал напряжения на 15 % от $U_{ном}$.

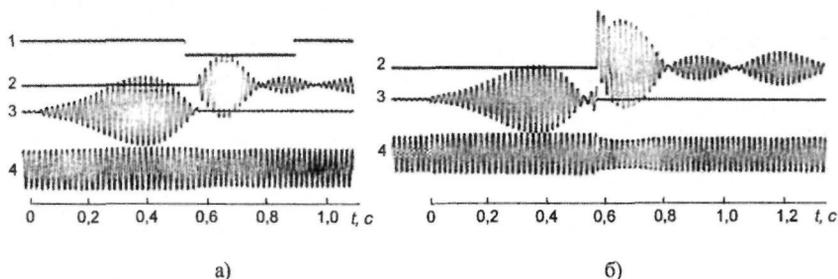


Рис. 6. Осциллограммы испытаний устройства БАР: а) на БГПЗ (г. Речица); б) на ОАО «Полимир» (г. Новополоцк): 1 – выходные контакты блока БАР, формирующие команду на включение СВ; 2 – ток через СВ; 3 – разность напряжений одноименных фаз 1-ой и 2-ой секций шин 6 кВ; 4 – напряжение на отключавшейся секции шин 6 кВ с СД

Результаты проведенных испытаний подтвердили высокую эффективность использования системы адаптивного быстродействующего самозапуска СД на предприятиях с непрерывным технологическим процессом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с поставленной целью для проверки выдвинутой гипотезы в диссертации получены следующие основные результаты:

1. Получены аналитические соотношения, позволяющие определять критическое время перерыва питания синхронных двигателей 6 (10) кВ по условию сохранения непрерывного технологического процесса [4].

2. С использованием предложенной математической модели выбега обобщенного агрегата двигатель-механизм получены в аналитической форме динамические характеристики выбега синхронных двигателей с различными типами обобщенного приводного механизма [2, 4, 9]. Это дает возможность прогнозировать допустимые интервалы времени включения эквивалентного синхронного двигателя на питающее напряжение по начальным параметрам аварийного режима. Достоверность полученных аналитических выражений подтверждена результатами экспериментального исследования характеристик выбега синхронных двигателей [9,11].

3. Разработан способ адаптивного быстродействующего самозапуска возбужденных синхронных двигателей. Способ предусматривает вычисление оптимального времени включения группы двигателей на резервное питание, исходя из измеряемой величины начального углового ускорения

группового выбега [1, 2, 3, 6, 7, 8]. Подача резервного питания на эквивалентный синхронный двигатель производится за время не более 0,6 с после потери питания. Использование разработанного способа позволяет обеспечивать динамическую либо результирующую устойчивость узла электродвигательной нагрузки 6 (10) кВ при кратковременных нарушениях электроснабжения.

4. Разработана схема комплексного датчика потери питания синхронной двигательной нагрузки [3, 5, 7], которая позволяет ускорить выявление режима потери питания за счет быстродействующего измерения скорости снижения частоты ЭДС синхронных двигателей [2, 7, 12].

5. Разработана система адаптивного быстродействующего самозапуска комплексной нагрузки с синхронными двигателями, выполняющая функции измерения входных информативных величин, вычисления располагаемого времени быстродействующего автоматического включения резервного питания и управления коммутационными аппаратами [3, 6, 7, 10]. Отличительной особенностью системы является адаптация к доаварийному технологическому режиму обобщенного приводного механизма. Устройства адаптивного быстродействующего самозапуска синхронных двигателей введены в опытную эксплуатацию на подстанции «Оснежицы» нефтеперекачивающей станции «Пинск» и в ОАО «Полимир».

**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Исследование условий обеспечения самозапуска синхронных электродвигателей при быстродействующем АВР //Энергетика. (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). - 2001. - № 2. - С. 40-43.
2. Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Быстродействующий самозапуск синхронной двигательной нагрузки //Энергетика. (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). - 2003. - № 1. - С. 28-43.
3. Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Применение адаптивного быстродействующего АВР на подстанциях предприятий с синхронной двигательной нагрузкой //Энергия и менеджмент. - 2002. - № 4(8). - С. 15-19.
4. Крышнев Ю.В. Исследование динамики выбега синхронных двигателей с учетом характеристик приводных механизмов //Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого -2002. -№ 3-4. - С. 74-81.
5. Баранов А.Г., Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Комплексный датчик потери питания синхронной двигательной нагрузки //Сборник научных работ студентов высших учебных заведений Республики Беларусь «НИРС 2002». - Минск, 2003. - С. 363-366.
6. Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Способ самонастраивающегося автоматического включения резервного питания нагрузки с синхронными электродвигателями //Современные проблемы машиноведения : Материалы II междунар. научн.-техн. конф. /Бел. инж. акад. ГПИ им. П.О. Сухого. - Гомель, 1998.-Том II. - С. 119-121.
7. Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Измерительно-управляющая система автоматического включения резервного питания нагрузки с электродвигателями //Современные методы цифровой обработки сигналов в системах измерения, контроля, диагностики и управления : Материалы II междунар. научн.-техн. конф. /Бел. гос. ун-т. - Минск, 1999. - С. 373-376.
8. Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Исследование условий АВР синхронных электродвигателей //Современные проблемы машиноведения : Материалы III междунар. научн.-техн. конф. /Бел. инж. акад. ГГТУ им. П.О. Сухого. - Гомель, 2000. - Том II. - С. 163-166.
9. Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Математическое моделирование синфазного АВР электродвигателей с механической характеристикой вентиляторного типа //Современные проблемы машиноведения : Материалы III междунар. научн.-техн. конф. /Бел. инж. акад. ГГТУ им. П.О. Сухого. - Гомель, 2000. - Том II. - С. 166-169.
10. Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Оптимизация параметров узла опережения устройства синфазного БАВР //Современные направления развития производства - технология и робототехника : Материалы междунар. научн.-техн. конф. /ММИ. - Могилев, 1999. - С. 41.

11. Курганов В.В., Крышнев Ю.В. Анализ экспериментальных данных опытов выбега мощных синхронных двигателей //Современные проблемы машиноведения : Тез. докл. междунар. научн.-техн. конф. /Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого». - Гомель, 2002. - С. 117.

12. Решение Национального центра по интеллектуальной собственности Республики Беларусь от 06.10.2003 г. о выдаче патента на изобретение по заявке № а 20000308; Заявл. 30.03.2000. Измерительный орган устройства автоматического включения резерва сети /В.В. Курганов, Ю.В. Крышнев.

РЕЗЮМЕ

Крышнев Юрий Викторович

Система адаптивного быстродействующего самозапуска синхронных двигателей на основе измерения углового ускорения

Быстродействующий адаптивный самозапуск, прогнозирование времени включения резервного питания, угловое ускорение группового выбега, комплексный датчик потери питания синхронных двигателей.

Объект исследования - системы управления высоковольтными синхронными двигателями, входящими в состав промышленных предприятий с непрерывным технологическим процессом.

Предмет исследования - система адаптивного быстродействующего самозапуска возбужденных синхронных двигателей, в которой основным информационным и управляющим параметром является угловое ускорение выбега обобщенного агрегата.

Цель работы заключается в разработке системы адаптивного быстродействующего самозапуска комплексной нагрузки с синхронными двигателями напряжением выше 1 кВ на основе измерения углового ускорения выбега обобщенного агрегата.

Методологической основой исследования являлись методы дифференциального и интегрального исчисления, законы математической статистики, а также вычислительный и натурный эксперимент.

Разработана математическая модель выбега обобщенного агрегата двигатель-механизм. Получены аналитические соотношения между временем перерыва питания узла электродвигательной нагрузки и динамическими характеристиками выбега высоковольтных синхронных двигателей. Разработан способ адаптивного быстродействующего самозапуска синхронных двигателей, который предусматривает вычисление оптимального времени включения группы двигателей на резервное питание, исходя из измеряемой величины начального углового ускорения группового выбега. Разработана схема комплексного датчика потери питания синхронной двигательной нагрузки, которая позволяет ускорить выявление режима потери питания за счет быстродействующего измерения скорости снижения частоты ЭДС синхронных двигателей.

Результаты работы внедрены в устройствах быстродействующего автоматического включения резервного питания синхронных двигателей на подстанции «Оснежицы» нефтеперекачивающей станции «Пинск» РУП «Гомельтранснефть Дружба» и на ОАО «Полимир» (г. Новополоцк).

Область применения результатов диссертации - высоковольтный синхронный электропривод промышленных установок и технологических комплексов.

РЭЗЬЮМЭ

Крышнеў Юрый Віктаравіч

**Сістэма адаптыўнага хуткадзейнага самазапуску
сінхронных рухавікоў на аснове вымярэння вуглавога паскарэння**

Хуткадзейны адаптыўны самазапуск, прагназіраванне часу ўключэння рэзервовага сілкавання, вуглавое паскарэнне груповага выбегання, комплексны датчык страты сілкавання сінхронных рухавікоў.

Аб'ект даследвання - сістэмы кіравання высакавольтнымі сінхроннымі рухавікамі, уваходзячымі ў склад прамысловых прадпрыемстваў з бесперапынным тэхналагічным працэсам.

Прадмет даследвання - сістэма адаптыўнага хуткадзейнага самазапуску ўзбуджаных сінхронных рухавікоў, у якой асноўным інфармацыйным і кіруючым параметрам з'яўляецца вуглавое паскарэнне выбягання абагульненага агрэгата.

Мэта працы заключаецца ў распрацоўцы сістэмы адаптыўнага хуткадзейнага самазапуску комплекснай нагрузкі з сінхроннымі рухавікамі напругай звыш 1 кВ на аснове вымярэння вуглавога выбегання абагульненага агрэгата.

Метадалагічнай асновай даследвання з'яўляліся метады дыферэнцыяльнага і інтэгральнага вылічэння, законы матэматычнай статыстыкі, а таксама вылічальны і натурны эксперымент.

Распрацавана матэматычная мадэль выбегання абагульненага агрэгата рухавік-механізм. Атрыманы аналітычныя суадносіны паміж часам перапынку сілкавання вузла электрарухавіковай нагрузкі і дынамічнымі характэрыстыкамі выбегання высакавольтных сінхронных рухавікоў. Распрацаваны спосаб адаптыўнага хуткадзейнага самазапуску сінхронных рухавікоў, які прадугледжвае вылічэнне аптымальнага часу ўключэння групы рухавікоў на рэзервовае сілкаванне, зыходзячы з вымяраемай велічыні пачатковага вуглавога паскарэння груповага выбегання. Распрацавана схема комплекснага датчыка страты сілкавання сінхроннай рухавіковай нагрузкі, якая дазваляе паскорыць выяўленне рэжыму страты сілкавання за кошт хуткадзейнага вымярэння скорасці зніжэння частаты ЭРС сінхронных рухавікоў.

Вынікі працы ўкаранены ва ўстройствах хуткадзейнага аўтаматычнага ўключэння рэзервовага сілкавання сінхронных рухавікоў на падстанцыі «Аснежныцы» нафтаперампоўваючай станцыі «Пінск» РУП «Гомельтранснафта Дружба» і на ААТ «Палімір» (г. Наваполацк).

Галіна выкарыстання вынікаў дысертацыі - высакавольтны сінхронны электрапрывад прамысловых устаноў і тэхналагічных комплексаў.

SUMMARY

Kryshnev Yuri Victorovich

The system of synchronous motor adaptive fast acting self-start based on angular acceleration measurement

Key words: fast acting adaptive self-start, stand-by power turning on time prediction, angular acceleration of group run-out, complex detector of synchronous motor power failures.

Research object: control systems for high-voltage synchronous motors installed at industrial enterprises with continuous technological process.

Research subject: the system of adaptive fast acting activated synchronous motor self-start, using angular acceleration of generalized assembly run-out as information and control parameter.

Research objective: development of adaptive fast acting self-start system for complex load with synchronous motors for over 1 kV based on angular acceleration measurement of generalized assembly run-out.

Methodological basis of the study included differential and integral calculus, mathematical statistics, and also computational and full-scale experiments.

A mathematical model of the run-out of generalized assembly including a motor and a mechanism has been developed. Analytical relations between power failure time of electromotive load node and dynamic characteristics of high voltage synchronous motor run-out have been obtained. The method of adaptive fast acting synchronous motor self-start has been developed, that provides for determining an optimum time of turning on stand-by power for a group of electric motors, based on initial angular acceleration for a group run-out. A diagram of a complex detector has been elaborated for synchronous electromotive load power failure picking up enabling to hasten power failure mode detection due to fast measurement of the reduction rate of the frequency of electromotive force of asynchronous motors.

The developments are introduced in fast acting automatic stand-by power connecting devices for synchronous motors at «Osnezhitsy» substation, oil pumping station «Pinsk», Republican Unitary Enterprise «Gomeltransneft Druzhba» and Public Company «Polimir» (the city of Novopolotsk)

Field of application: high voltage synchronous electric drive for industrial units and technological complexes.

Крышнев Юрий Викторович

**СИСТЕМА АДАПТИВНОГО
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО САМОЗАПУСКА
СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ
УГЛОВОГО УСКОРЕНИЯ**

05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Редактор О.Н. Сакунова
Компьютерная верстка Е.Н. Герасименко

Подписано в печать 11.11.2003.
Формат 60x84/16 Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,41. Тираж 100 экз. Изд № 160.
Заказ № 369.

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого».
Лицензия ЛВ № 399 от 12.06.2001.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.

Отпечатано на ризографическом оборудовании Учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого».
Лицензия ЛП № 114 от 19.12.2002.
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.