

ISSN 0013-5860

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

7 1994

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор **КОЧЕТКОВ В.Д.**

АЛЕКСАНДРОВ Г.Н., АРХАНГЕЛЬСКИЙ Ю.Н., БУЛАТОВ О.Г., ГЛОВАЦКИЙ А.В., ИНЬКОВ Ю.М., КОВАЛЕВ Ф.И., КОЗЛОВ В.Б., КОПЫЛОВ И.П., КОРОТКОВ Г.С., КУБАРЕВ Л.П., ЛУРЬЕ А.И., МОСКАЛЕНКО В.В., ОБОЛЕНСКИЙ Н.А., ОРЛОВ Е.Г., ПЕШКОВ И.Б., ПОДАРУЕВ А.И., ПОЗДЕЕВ А.Д., ПОПОВ А.Н., ПОПОВ В.В., ПРЕСНОВ Ю.Л., РУСАКОВ В.Г. (зам. главного редактора), СУВОРОВ Н.И., ТРУБАЧЕВ С.Г., ЮНЬКОВ М.Г.

Редактор отдела **Кунавина О.В.**

Адрес редакции: 123242, Москва, Зоологическая ул., 11, комн. 212

Телефон: 254—1152



Издается при содействии АО "Росэлпром",
 АО "Прогрессэлектро", ассоциации
 инженеров силовой электроники
 и ассоциации "Автоматизированный
 электропривод"

ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1930 ГОДА

№ 7 ИЮЛЬ 1994

СОДЕРЖАНИЕ

СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Юшков М.Г., Изосимов Д.Б., Москаленко В.В.,
 Остриров В.Н. Состояние и перспективы разви-
 тия регулируемых электроприводов 2
 Дацковский Л.Х., Бирюков А.В., Вайнтруб О.Ш.,
 Роговой В.И. Современный электропривод: со-
 стояние, проблемы, тенденции 6
 Изосимов Д.Б. Синтез управления в электропри-
 водах 11
 Ильинский Н.Ф. Прикладные компьютерные про-
 граммы для массового электропривода 15
 Кудрявцев А.В., Богаченко Д.Д., Ладыгин А.Н.,
 Никольский А.А., Федоров Г.М. Преобразова-
 тель частоты для регулируемого электропривода
 широкого применения 18
 Браславский И.Я., Зюзов А.М., Шилин С.И. Мик-
 ропроцессорный контроллер для управления по-
 зиционным асинхронным электроприводом с
 тиристорным преобразователем напряжения 20
 Боголюбов Ю.В. Комплексные мехатронные узлы
 для металло- и деревообработки 22
 Аппасимов В.А., Горнов А.О., Москаленко В.В., Ро-
 зинский Ю.В. Специальные режимы пусковых
 устройств для асинхронных двигателей 23
 Рывкин С.Е., Изосимов Д.Б. Алгоритмы иденти-
 фикации механических координат электропри-
 вода 26
 Попов Б.Н. Однокристалльный микроконтроллер
 электродвигателей 30
 Остриров В.Н., Прибора А.Н. Робастный регуля-
 тор позиционирования для мощного биотехни-
 ческого манипулятора 35
 Писарев А.Л., Портной Ю.Т. Исследование на
 ПЭВМ характеристик регулируемого электро-
 привода с тиристорными коммутаторами при
 различных алгоритмах управления 38
 Зинков А.Ю., Платонова В.Е., Сергеевский Ю.Н.
 Энергетические модели ременных передач и их
 использование в проектировании электроприво-
 да 42
 Сергеевский Ю.Н., Ладыгин А.Н., Романов А.М.
 Создание лаборатории по сертификационным
 испытаниям электроприводов на базе кафедры
 автоматизированного электропривода МЭИ 43
 Овощенко Г.Б., Сергеев П.С. Измерение ошибок
 регулирования в микропроцессорных системах ав-
 томатического управления электроприводами 44

Водовозов В.М., Рассудов Л.Н., Цветников Е.А. Ком-
 пьютерное управление электроприводами системы
 непрерывного весового дозирования 46

НОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ И РАЗРАБОТКИ

**Разработки кафедры автоматизированного
 электропривода МЭИ**

Жарников С.И., Моисеева Е.Е., Прудникова Ю.И.,
 Сидоров Н.В. Компьютерная программа "Обще-
 промышленные асинхронные двигатели" 49
 Жарников С.И., Моисеева Е.Е., Прудникова Ю.И.,
 Сидоров Н.В. Компьютерная программа "Цент-
 робежные вентиляторы" 50
 Бычков М.Г., Пивесков А.В. Компьютерная про-
 грамма "Подшипники в асинхронных двигате-
 лях" 50
 Бычков М.Г., Сидоров Д.В., Кузнецова В.Н. Ком-
 пьютеризированное оборудование для испытания
 двигателей и передач 51
 Балковой А.П., Козаченко В.Ф., Кудряшов А.Л. Мало-
 габаритная система управления шаговыми дви-
 гателями от персонального компьютера 53
 Азаров Б.Я., Кашицын А.В., Данилов В.Н. Про-
 граммная среда для хранения, отображения и
 анализа осциллограмм работы сложных систем
 электропривода технологических объектов (ПС
 "Диагностика") 54
 Остриров В.Н., Бурыкин Ю.Т. Система компью-
 терной поддержки оптимизации электромехани-
 ческих систем главных приводов экскаваторов-
 драглайнов 55
Разработки НПО "Электропривод"
 Федоров А.М. Новая серия светосигнальной арма-
 туры типа АСФ, ТСФ 56
 Федоров А.М. Новая серия кнопок командных
 типа ККФ 59
 Брагилевский Е.Л., Иванов А.В. Электропривод
 постоянного тока типа ЭПНМ 60
 Брагилевский Е.Л., Гофман В.А. Бесконтактные
 пускатели переменного тока на базе полупровод-
 никовой техники 60
СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ
 Внимание руководителей организаций, специали-
 стов! 61
 Ильинский Н.Ф., Терехов В.М., Юшков М.Г. Рцен-
 зия на книгу "Автоматизированный электропри-
 вод с упругими связями" 62
 Булатов О.Г. Новая книга 62
 Предлагаем услуги 63

Редакция продолжает выпуск тематических номеров журнала, посвященных работе отдельных научно-производственных коллективов, итогам состоявшихся конференций и семинаров. Этот номер подготовлен по материалам научно-технического семинара "Современный регулируемый электропривод малой и средней мощности на основе интеллектуальной силовой электроники и микропроцессорных средств управления". Он проходил с 2 по 4 февраля 1994 г. в Московском энергетическом институте на кафедре автоматизированного электропривода и был организован научно-производственной группой "Мехатроника", Ассоциацией "Автоматизированный электропривод", кафедрой автоматизированного электропривода МЭИ, ассоциацией инженеров силовой электроники, ВНИИмонтажспецстрой и АО "Европривод-Мицар".

На семинаре было сделано 46 докладов и сообщений. В работе семинара приняло участие более 100 специалистов из 87 организаций, представлявших Россию, Украину, Белоруссию, Латвию и Эстонию.

В данном номере публикуется часть материалов, отражающих научно-техническое содержание проведенного семинара.

Материалы подготовлены к печати Правлением Ассоциации "Автоматизированный электропривод".

СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

УДК 62-83.001.8

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

(аналитический обзор докладов)

М.Г.ЮНЬКОВ, Д.Б.ИЗОСИМОВ, В.В.МОСКАЛЕНКО, В.Н.ОСТРИРОВ

г. Москва

Происходящие в стране экономические изменения наложили свой отпечаток на развитие автоматизированного электропривода и определили новые условия и направления деятельности специалистов, занимающихся его разработкой, изготовлением и использованием. Сокращение промышленного производства и объемов модернизации предприятий, проблемы неплатежей, нарушенные экономические связи резко сократили потребность в серийно выпускаемых и вновь создаваемых электроприводах.

Необходимость тем не менее сформировать рынок как отечественных, так и зарубежных потребителей требует решения целого комплекса вопросов, среди которых как традиционные — повышение качества и технического уровня электроприводов, так и относительно новые — их сертификация и маркетинг.

Такая ситуация определила и основную цель семинара, состоящую в обмене новой информа-

цией, развитии деловых контактов и освоении принципов рыночных взаимоотношений.

В работе семинара приняли участие более ста специалистов из академических институтов, научных центров, конструкторских бюро и предприятий-изготовителей автоматизированного электропривода и комплектующих, а также представители отраслевых предприятий-потребителей. Из 46 сделанных на семинаре докладов и сообщений десять были посвящены применениям новых компонентов электроприводов (силовых модулей и приборов, электрических машин и микропроцессорных средств управления), семь — разработкам комплектных электроприводов и унифицированных мехатронных узлов, десять — новым схемотехническим и алгоритмическим решениям, одиннадцать — отраслевым электроприводам, по два — тенденциям развития электроприводов и компьютерной поддержке их внедрения и эксплуатации, четыре — вопросам сертификации и мар-

кетинга. В статье дан краткий обзор, выполненный на основе представленных докладов и их обсуждения.

Наметившийся рост объемов и номенклатуры предлагаемых на мировом рынке регулируемых электроприводов характеризуется новыми аспектами конкурентной борьбы между их производителями. На первый план выходит понятие "всеобщее качество", включающее в себя не только традиционные для мирового рынка качество и цену электротехнической продукции, но и такие показатели, как сервисное обслуживание, оперативность в оказании технической помощи, доступность запасных частей. Подобное инженеринговое сопровождение разработок предлагают и некоторые российские организации, но это пока что не является правилом.

С 1994 г. на общеевропейский рынок будет допускаться только продукция, имеющая сертификацию производства в соответствии с нормами стандартов ISO 9000. Остро стоит вопрос о создании системы сертификации в России (в том числе по международным стандартам) как производства электроприводов, так и самих электроприводов и их компонентов. Координировать эту деятельность призван Госстандарт РФ на основе уже принятых Закона РФ о защите прав потребителей и Постановления Правительства РФ 100 от 12.02.1994 г. "Об организации работ по стандартизации, обеспечению единства измерений, сертификации продукции и услуг".

Перспективы совершенствования регулируемых электроприводов в значительной степени определяются применяемой элементной базой.

Свыше 40 зарубежных фирм поставляют на рынок более 75000 типономеров мощных полевых транзисторов (МДП ПТ — MOSFET), биполярных транзисторов с изолированным затвором (БТИЗ — IGBT), биполярных транзисторов Дарлингтона, запираемых тиристоры (GTO) и других переключаемых силовых приборов. Для МДП ПТ характерны высокая скорость переключения, высокое входное сопротивление, сопротивление открытого состояния приборов низкого напряжения чрезвычайно мало. Для БТИЗ характерно сочетание лучших свойств МДП ПТ (при меньшем быстродействии) и биполярного транзистора. Как ожидается, силовые МОП-приборы станут доминирующими среди дискретных приборов уже к середине 90-х годов.

В России налажен выпуск МДП ПТ с параметрами (50—500) В/(0,28—0,6) Ом соответственно, планируется серийное производство БТИЗ с параметрами 1200 В, 25 А. Для сопоставления приводим параметры MOSFET, IGBT производства ведущих фирм: 50—1500 В, 1—400 А (до 1200 А в модульном исполнении). Начато производство приборов нового для РФ класса: силовых гибридных интегральных модулей (СГИМ), объединяющих в одном конструктиве силовые ключи на МДП ПТ, а в ближайшем будущем и на БТИЗ, с обратными диодами, выпрямителем для питания

преобразователя от сети переменного тока, драйверами управления транзисторами (в том числе с внутренним питанием драйверов). В модуле LP8 (85×111×26 мм) размещается практически законченный преобразователь частоты мощностью до 1,1 кВт для питания вентильных и асинхронных двигателей. Производятся запираемые тиристоры с параметрами до 2400 В, 1200 А.

По комплектным силовым преобразователям, кроме упомянутых СГИМ, имеются опытные образцы НПЧ с выходной частотой до 40—45 Гц, серийно производятся транзисторные преобразователи ПНТ-1 для приводов постоянного тока до 4 кВт, преобразователи частоты ТТПР-20, 80,15 мощностью до 53 кВт с выходной частотой до 2000 Гц для питания асинхронных двигателей, гибридные тиристорно-контактные регуляторы напряжения для пуска асинхронных двигателей с мощностью до 250 кВт.

В области разработок электродвигателей сообщено о производстве вентильных электродвигателей серий 2ДВМ, 2ДВФ, 3ДВМ с моментами до 35 Н·м и скоростью до 12 000 об/мин.

Рост степени интеграции микропроцессорных БИС, повышение вычислительной мощности и быстродействия при снижении стоимости приборов привели к массовому применению микропроцессорных элементов в регулируемом электроприводе. Тенденция в этой области связана с вытеснением микропроцессорных комплектов с шинной организацией однокристалльными микроЭВМ и микроконтроллерами, адаптированными к задачам управления в реальном времени и имеющими интегрированные в кристалл периферийные устройства: АЦП, мультиплексоры, формирователи ШИМ-сигналов, быстродействующие дискретные и импульсные устройства ввода/вывода параллельного и последовательного типа и др. Как значительный шаг в развитии элементной базы систем управления оценивается серия 16-ти разрядных микроконтроллеров INTEL 8096. Например, микроконтроллер управления электроприводами INTEL 80C196MC адаптирован по своим возможностям и системе команд к управлению асинхронными и вентильными двигателями с ШИМ-модуляцией напряжения. Для замены логических схем управления выпускаются программируемые интерфейсные контроллеры (PIC), имеющие предельно высокие параметры быстродействия, а для замены аналоговых систем — цифровые процессоры обработки сигналов (аналоговые процессоры) INTEL 2920, сигнальные процессоры TMS 320 и др. В перспективе в электроприводах найдут применение и транспьютеры (Т-200, Т-400, Т-800).

На семинаре сообщено о создании следующих отечественных технических средств управления: быстродействующей СИФУ на базе специализированных гибридных интегральных схем СГИС, цифровых фильтров для управления приводами постоянного тока; специализированных управляющих интегральных схем (СУИС) для управления приводами переменного тока: контроллера кор-

ректора коэффициента мощности КР1033ЕУ4, контроллера ШИМ управления вентиляльным двигателем с датчиком положения ротора, контроллера ШИМ для асинхронного двигателя. Отметим сообщения о разработке микроконтроллера на базе KA1515XM1 для прямого цифрового ШИМ-управления, позволяющего настроиться на тип применяемого электродвигателя; микропроцессорного векторного (синусоидального) ШИМ-контроллера на базе INTEL 8051, INTEL 80198 для управления трехфазным инвертором напряжения; контроллера для управления позиционным приводом на базе ТПН—АД.

Следует заметить, что технические требования к разрабатываемой структурированной элементной базе для электропривода (прежде всего это касается определения структур и состава интегральных силовых и управляющих схем и модулей, элементов сложной электромеханики, а также используемых алгоритмических решений) должны исходить в первую очередь от специалистов по общим, системным вопросам управляемого электропривода. Пока необходимые здесь организационные и координирующие связи недостаточны.

На семинаре сообщили, что за последние годы отечественный рынок комплектных электроприводов пополнился новыми изделиями: серийными электрошпинделями (до 48 000 об/мин); высокоскоростными борфрезами, приводами для зачистной машины; трехфазными электроприводами постоянного тока ЭПУ1М.

Заканчивается разработка ЭПУЗ, в стадии завершения высокоточный электропривод переменного тока ЭПВ4 (до 47 Н·м) с синусоидальным заданием тока, созданы опытные образцы тиристорных приборов ЭТА2 с НПЧ (3—400 кВт, до 40—45 Гц), транзисторных приводов ЭПА1-02 (асинхронный привод до 11,5 кВт, в том числе электрошпиндели специального исполнения); цифровой привод для технологического оборудования ЭАМ1 с моментом до 17 Н·м; однофазный циклоконвертор с выходной частотой до 25 Гц, с микропроцессорным управлением на базе КР1816 ВЕ48 для массового асинхронного электропривода; пьезо-электроприводы с полосой пропускания до 5000 Гц.

Растет номенклатура производимых мехатронных модулей и узлов. Производятся поворотные мехатронные модули (ПММ); планетарная шлифовальная и фрезерная головка; мехатронные модули вращательного и линейного движения (ММД); высокоскоростные до 250 000 об/мин с воздушными и электромагнитными подшипниками, до 30 кВт; высокомоментные до 2500 Н·м, 300 об/мин, с точностью позиционирования до 3^{11} ; линейные до 5000 Н, 2 м/с; интегрированные мехатронные узлы (с совмещением линейного и вращательного движения); комплектные высокоскоростные мехатронные узлы до 10 кВт, 96 000 об/мин.

Следует отметить планируемую организацию автоматизированного производства электродвигателей и мехатронных модулей движения на заводе "МЕХАТРОН".

Распределение сообщений об использовании регулируемых электроприводов показывает довольно широкий спектр его применений в различных отраслях хозяйства: станкостроение, робототехника (ЭПУ1М, ЭПУЗ, ЭПУ4, ЭПБ4, ЭТА2, ЭПА1-02, ПММ, ПЧТПТР-20,80,15, ЭАМ1); кузнечно-прессовое оборудование, эскалаторы, станки-качалки для нефтедобычи (ЭТА2); общепромышленное применение (насосы, вентиляторы, компрессоры, центрифуги, технологическое оборудование в пищевой, текстильной промышленности, угольные комбайны, массовый привод, вспомогательный привод электровозов и др.): ЭПА1-02, ЭАМ1, ПЧТПТР-20,80,15; ручной инструмент; краново-подъемные механизмы, лебедки, транспортные манипуляторы, тяговый привод городского электротранспорта (метро, трамвай, троллейбус), большегрузные самосвалы; экскаваторы.

Приятным фактом является достаточно большое количество сообщений о создании приводов для общепромышленного и массового применения. Именно в таких приводах будут отрабатываться конструктивные элементы, специализированные комплектующие узлы и на этой основе повышаться их технологический уровень и технологический уровень отечественного электропривода в целом.

Однако надо отметить невысокую конкурентоспособность на мировом рынке серийно производимых в нашей стране регулируемых электроприводов и их компонентов. Это касается также разработок, в которых используются отдельные импортные комплектующие. Стоимость отечественных приводов приблизилась к мировому уровню, а их потребительские свойства уступают зарубежным аналогам.

Основные причины такой ситуации связаны с отставанием технологического, технического и экономического уровней отечественного производства. Другая причина — в некомплексном подходе к разработке приводов: отдельные удачные решения (например, по применению силовых интегральных модулей, или применению эффективного двигателя с параметрами, не уступающими мировому уровню, или перспективного интегрированного мехатронного узла), обычно не "встречаются" одновременно в одном разработанном комплектном образце; это свидетельствует о недостаточной координации работ, разобщенности работ отдельных специалистов. Кроме того, отсюда следует вывод о необходимости более широкой взаимосооперации и кооперации с ведущими фирмами в производстве комплектных приводов и изделий, в которых эти приводы используются.

И еще о разработках новых регулируемых электроприводов. В настоящее время техническая политика в определении направления перспективных разработок, как по структуре и типам средств, основным схемным и алгоритмическим решениям, так и по используемой элементной базе определяется в основном опытом создания

отечественных образцов и опытом инофирм, уже использующих те или иные апробированные технические решения и технологии. Это предопределяет изначально заложенный элемент отставания создаваемых отечественных образцов от их зарубежных аналогов, и, на наш взгляд, именно этот элемент является основным, определяющим неконкурентоспособность создаваемой отечественной продукции на мировом рынке. Прорыв "порочного круга", возникающего из-за отставания технологического уровня отечественных производителей элементной базы и "подражательского" подхода к разработке комплектных устройств, возможен лишь на пути использования оригинальных идей и технических решений. Поэтому представляется, что сообщения об исследованиях и разработке новых структурных схем, схемотехнических решений и алгоритмов управления электроприводами являются наиболее важными с точки зрения выявления перспектив развития отечественного автоматизированного электропривода. Учитывая имеющийся научный потенциал, в современных условиях именно оригинальные научно-технические решения могут и должны явиться главной "козырной картой", способствующей наискорейшему успешному выступлению отечественных производителей на мировом рынке автоматизированного электропривода. Это, кстати, следует иметь в виду и руководителям отраслей и "командирам" производства при выделении средств на научные исследования и опытно-конструкторские разработки.

На научно-техническом семинаре по вопросам разработки новых схемотехнических и алгоритмических решений были сделаны следующие сообщения:

исследование шеститристорного коммутатора для массового асинхронного электропривода;

цифровые фильтры (для СИФУ);

алгоритмы векторной ШИМ "по прогнозу" для инверторов напряжения;

программное обеспечение для IBM PC/AT для управления комплексом электроприводов;

программное обеспечение для построения робастного регулятора позиционирования для манипулятора (с учетом двухмассовой гибкой механической связи);

способ измерения углового положения с помощью датчика типа резольвер, индуктосин;

метод получения информации о механических координатах без датчиков механических координат;

универсальная алгоритмическая база построения электроприводов;

новые алгоритмы управления НПЧ;

инвертор тока на полностью управляемых ключах.

Относительно небольшое количество сообщений о новых структурах, схемотехнических решениях и разработках новых алгоритмов управления электроприводами настораживает.

Желательно, чтобы новые разработки технических средств управления представляли элемен-

ты единой, унифицированной структуры, которая, в свою очередь, должна обладать гибкостью по используемым алгоритмическим решениям. Иной подход, без должной унификации технических средств, кроме весьма значительных первоначальных затрат, требует дополнительных, часто еще больших затрат на модернизацию и обслуживание рынка неудачно спроектированной продукции. Особенное значение это имеет при разработке новой техники для массового применения.

Новое и перспективное направление — создание программной среды, обеспечивающей сбор информации и ее анализ по действующим и налаживаемым сложным электроприводам и технологическим объектам, например, прокатным станам металлургических заводов. Ее использование может обеспечить текущий и аварийный контроль за работой электропривода и технологического оборудования, позволяет оперировать с массивами экспериментальных данных для наладки и оперативного управления.

Продолжают разрабатываться и совершенствоваться во многих организациях программные продукты и для расчета и выбора двигателей и комплектных электроприводов различных рабочих машин и механизмов — станков, роботов и манипуляторов, насосов и т.д. Расширение сервисных функций позволяет использовать программные продукты в диалоговом режиме на различных языках пользователя и при разнообразных конфигурациях аппаратного обеспечения. В целом вопросам разработки САПР электропривода уделяется недостаточное внимание. Видимо, положение начнет изменяться после организации крупных отечественных специализированных фирм, эффективная работа которых невозможна без соответствующего высокого "фирменного" (т.е. представляющего собственность фирмы) уровня автоматизированного проектирования и автоматизированных информационных систем.

Основным результатом прошедшего семинара, по мнению его участников, является тот отрадный факт, что отечественный электропривод продолжает развиваться. Это положение, как и необходимость обмена новой научно-технической информацией и повышения квалификации специалистов в области маркетинга электротехнической продукции, определяет необходимость ежегодного проведения такого семинара.

Одним из важнейших вопросов, явно или неявно затрагивавшихся практически во всех дискуссиях, является вопрос о стратегии формирования отечественных фирм и их выживании в новых условиях. Тяжелая общеэкономическая ситуация, отсутствие четко сформулированной программы экономических реформ, неблагоприятная для производителей продукции налоговая политика, большая степень неопределенности внешнеэкономических связей, нестабильность и отсутствие законодательства, позволяющего привлечь иностранный инвестиционный капитал, многие другие факторы сильно затрудняют ответ на поставлен-

ный вопрос. Отдельные частные решения, например, ориентирующиеся только на высокотехнологичные конвертируемые отечественные производства, или только на импортные комплектующие, или на создание совместных предприятий с ведущими фирмами и использование их технологий (реализуемость последнего весьма сомнительна) не решают всего комплекса проблем. Каждый участник экономического процесса должен выбрать (угадать?) свой путь, который позволит ему успешно развиваться в условиях предстоящей конкурентной борьбы. Ясно, что такой выбор не-

обходимо сделать срочно, а принимаемые решения, по всей видимости, должны носить неординарный, кардинальный характер.

И еще один вывод, касающийся фактического отсутствия четко сформулированной государственной программы развития и поддержки электротехнической и электронной промышленности. Очевидно, что такое положение, даже в условиях перехода к рыночной экономике, усугубляет наметившийся разрыв в техническом уровне отечественных и зарубежных электроприводов и их компонентов.

УДК 62-83.001.3

СОВРЕМЕННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ, ТЕНДЕНЦИИ

Л.Х.ДАЦКОВСКИЙ, А.В.БИРЮКОВ, О.Ш.ВАЙНТРУБ, В.И.РОГОВОЙ

НПО "Электропривод", г.Москва

С начала 80-х годов наблюдается тенденция роста применения регулируемых электроприводов переменного тока. Ведущие электротехнические фирмы устойчиво поддерживают рост производства таких электроприводов на уровне 10—20% в год несмотря на неблагоприятную экономическую конъюнктуру. К 2000 г. прогнозируется дальнейшее увеличение производства.

Рост производства и обоснованность прогноза обусловлены в основном двумя обстоятельствами. В последние годы наблюдается, во-первых, устойчивая тенденция автоматизации производственных процессов с использованием АСУТП, что предполагает применение регулируемых электроприводов, и, во-вторых, — тенденция применения энергосберегающих технологий в различных отраслях производства, которые дают существенный экономический эффект.

Ниже приведены оценочные значения экономии электроэнергии при установке регулируемого электропривода (взамен нерегулируемого) (в процентах): для насосов — 25; для компрессоров — 40—50; для воздуходувок и вентиляторов — 30; для центрифуг — 50.

При замене в таких механизмах нерегулируемых электроприводов регулируемыми капиталовложения окупаются за 6—24 месяца.

В диапазоне средних и больших мощностей в зависимости от характера нагрузки и требований по глубине регулирования и динамическим характеристикам применяются разные типы электроприводов.

1. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод на основе тиристорного преобразователя частоты на запираемых тиристорах с автономным инвертором напряжения (или тока). Этот тип дает существенную часть роста производства регули-

руемых электроприводов средней мощности, что обусловлено освоением в начале 80-х годов многими ведущими фирмами производства новых комплектующих изделий: силовых полупроводниковых приборов (СПП), микропроцессорных средств управления, защиты и регулирования электроприводов. Эти изделия значительно улучшили энергетические, массогабаритные и эксплуатационные показатели электроприводов переменного тока.

Сейчас запираемые тиристоры (ЗТ) с параметрами $I_{TGO} = (2000+2500)$ А и $U_{DRM} = (2500+3000)$ В являются обычными приборами. Относительно массовым стал и ЗТ с предельными параметрами для шайбы 76 мм $I_{TGO} = 3000$ А и $U_{DRM} = 4500$ В. Прогресс в развитии СПП, включаемых по управляющему электроду (транзисторы и ЗТ), позволил изменить ранее существовавшие топологии схем преобразователей частоты.

Тиристорные преобразователи частоты (ТПЧ) с автономными инверторами напряжения (АИН) на ЗТ по сравнению с ТПЧ, выполненными с применением тиристоров типа ТБ, позволяют улучшить габаритные показатели в 2—2,5 раза и по массе в 2,5—4 раза прежде всего за счет исключения узлов искусственной коммутации.

Опыт разработки, производства и эксплуатации асинхронных частотно-регулируемых электроприводов с преобразователями частоты на основе АИ с ЗТ показал, что высокая технико-экономическая эффективность от применения ЗТ достигается в случае, если параметрическому ряду ТПЧ электроприводов соответствует вполне определенный ряд ЗТ, демпфирующих диодов, диодов обратного тока, демпфирующих конденсаторов, согласованный не только по параметрам, но и по режимам работы как цепи анод-катод ЗТ, так и цепи уп-

равляющий электрод-катод. Кроме того, конструирование преобразователей на ЗТ для частотно-регулируемых асинхронных электроприводов имеет ряд особенностей по сравнению с конструированием преобразователей на обычных инверторных тиристорах, связанных с необходимостью обеспечения электромагнитной совместимости.

Целесообразно перейти от поставок одних дискретных ЗТ к комплектным поставкам, включающим в себя не только ЗТ, но и сопутствующие комплектующие, предназначенные для обеспечения необходимых условий работы самого ЗТ и необходимых режимов работы ЗТ с сопутствующими комплектующими в тех или иных схемах ТПЧ частотно-регулируемых асинхронных электроприводов.

Зарубежные фирмы, производящие преобразователи частоты для частотно-регулируемых электроприводов, используют три вида взаимоотношений с фирмами, производящими ЗТ [1]:

1) ЗТ поставляются в комплекте с быстровосстанавливающимися диодами и формулируются требования, которым должна удовлетворять система управления ЗТ и конструкция блока к ним;

2) ЗТ поставляются в комплекте с быстровосстанавливающимися диодами и блоком управления ЗТ с выдачей рекомендаций по конструированию блока с этими комплектующими изделиями;

3) поставляется законченная конструкция блока, содержащего ЗТ, быстровосстанавливающиеся диоды, параллельную, а иногда последовательную демпфирующие цепочки, систему управления ЗТ, охладитель (и) и конструктивные элементы для крепления блока в шкафу преобразователя.

Управление выходным напряжением ТПЧ с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) или широтно-импульсным регулированием (ШИР) позволяет повысить входной коэффициент мощности до 0,96. Существенным отличием ТПЧ при ШИМ является относительно невысокая (до 1 кГц) несущая частота, поэтому широко применяются алгоритмы с вычислением в реальном масштабе времени углов управления тиристорами автономного инвертора напряжения (АИН). Микропроцессорная реализация системы управления позволяет реализовать сложные алгоритмы, минимизирующие содержание гармонических составляющих в кривых тока и момента [2].

Электроприводы на основе ТПЧ с автономными инверторами тока (АИТ) используются в диапазоне мощностей от нескольких десятков киловатт и выше. Электропривод обеспечивает работу в четырех квадрантах поля механических характеристик.

Автономный инвертор тока с ЗТ по сравнению с АИТ на обычных тиристорах может быть реализован с большой частотой выходного напряжения (до 200 Гц) и более высоким значением КПД. При работе электропривода в режиме пониженной скорости система автоматического регулирования (САР) вырабатывает знакопеременные сиг-

налы переменной длительности, обуславливая широтно-импульсное регулирование тока преобразователя. Это снижает пульсации электромагнитного момента и расширяет диапазон регулирования скорости до 1:200. Благодаря этому возможно дискретное позиционирование электропривода (с введением контура регулирования скорости).

В микропроцессорной САР электроприводов с АИТ регулятор тока, СИФУ выпрямителя и регулятор угла управления АИТ выполняются аппаратно, что объясняется необходимостью обеспечения надежной коммутации автономного инвертора [2].

2. Частотно-регулируемый электропривод на основе тиристорных преобразователей частот с естественной коммутацией.

Здесь следует выделить два типа электроприводов:

1) по схеме "вентильного двигателя" на базе синхронного двигателя (СД) с электромагнитным возбуждением;

2) синхронные и асинхронные электроприводы на базе непосредственного преобразователя частоты (НПЧ).

Диапазон мощностей — от нескольких десятков киловатт и выше.

Электропривод по схеме "вентильного двигателя" является массовым и относительно дешевым типом привода. Для обеспечения высоких технико-экономических показателей СД должны быть минимальными по значениям сверхпереходная индуктивность (при этом следует учитывать, что максимальный момент ограничивается на уровне, примерно $\frac{0,4}{X^*} M_n$) и активное сопротивление демпферной обмотки (для уменьшения дополнительных потерь от высших гармоник тока).

Наиболее полное использование габаритной мощности СД достигается управлением, реализующим зависимость от тока текущее значение угла опережения зажигания инвертора β или постоянство угла запаса (угла восстановления запирающих свойств вентилей) $\delta = \text{const}$. Такое управление возможно только при микропроцессорной САР, что обусловлено трудностями его реализации.

Электропривод на базе НПЧ применяется для глубокорегулируемых и высокодинамичных приводов (прокатные станы, шахтные подъемные машины, гребные винты ледоколов и т.п.).

Частотно-регулируемые электроприводы с синхронными исполнительными двигателями характеризуются следующими особенностями:

независимо от типа преобразователя частоты (транзисторный или тиристорный со звеном постоянного тока, НПЧ) источник питания переменной частоты работает в режиме источника тока, который организуется параметрически либо посредством управления;

управление вентильным преобразователем организуется по положению вала СД (наличие

На вход МКМ поступает выходной сигнал регулятора скорости и, в общем случае, заданное значение потокосцепления (или соответствующего тока намагничивания).

В электроприводе осуществляются координатные преобразования регулируемых переменных, а также вычисление (с помощью математических моделей элементов объекта регулирования) значений переменных, трудно поддающихся непосредственному измерению.

В качестве элементной базы системы управления СД использован набор модулей УСО "ЭЛЕКТРОНИКА МС 9505", в состав которого входят одноплатный контроллер; модуль запоминающего устройства (ПЗУ); модули дискретного ввода и вывода; модули цифроаналогового и аналого-цифрового преобразователей (ЦАП и АЦП); модули таймеров и питания, а также разработаны специализированные модули: регулятор фазных токов, вычислитель потокосцепления, модуль обработки сигналов импульсного датчика и быстродействующий АЦП.

Характеристики микропроцессорной системы приведены ниже.

Быстродействие ЦП, млн.оп/с	0,6
Разрядность операндов/формат	16/фиксированная точка
Разрядность АЦП/ЦАП, бит.....	12/12
Период дискретизации, мс	3,3
Число аналоговых каналов ввода/вывода.....	8/10
Число дискретных каналов ввода/вывода.....	16/16
Гальваническая развязка по каналам связи с объектом.....	имеется
Число каналов ИРПР/ИРПС	1/2
ТИП ПЗУ	K573 РФ2 (K573 РФ5)
Объем рабочей/фоновой программы, Кбайт	5/20
Язык программирования/ОС.....	PASCAL/RT11
Габариты блока, мм.....	443x240,5x371
Напряжение питания, В	220

Микропроцессорная система управления (МПУ) СД строится как двухуровневая, содержащая низкоприоритетную фоновую и высокоприоритетную рабочую части, каждая из которых состоит, в свою очередь, из отдельных модулей. Состав программного обеспечения (ПО) показан на рис. 2.

В ПО включены собственно рабочие программы, выполняющие все необходимые действия в процессе функционирования МПУ, а также технологические программы для подготовки и отладки рабочих. Отлаженные рабочие программы размещаются в ПЗУ, входящем в состав МПУ. Для технологического ПО кроме ЭВМ необходимо еще периферийное оборудование, показанное на рис. 3. Отладка программ может также выполняться на микроЭВМ ДВК-3, совместимой на уровне системы команд с выбранным процессором.

Построение рабочих программ (встроенного ПО) определяется требованиями циклической организации вычислительного процесса с высоким темпом повторения для реализации цифровых алгоритмов управления СД. При этом не удается использовать какой-либо из стандартных мониторов реального времени.

Все программное обеспечение построено таким образом, что в системе непрерывно выполняется фоновая программа, прерываемая периодически

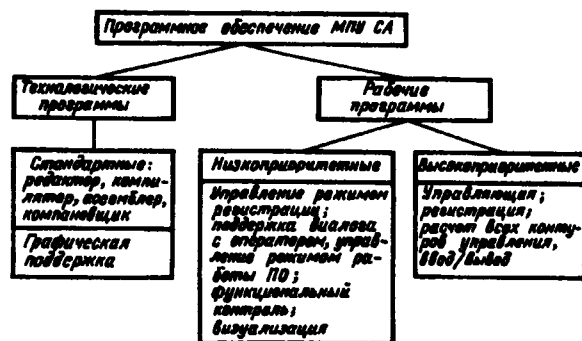


Рис.2. Состав программного обеспечения микропроцессорного устройства синхронного двигателя

сигналом таймера, после чего происходит переход на прерывающую программу, в которой производятся расчеты всех контуров регулирования, а также операции, связанные с регистрацией наблюдаемых величин. Цикличность программы управления задается программированием таймера, частота которого устанавливается при инициализации системы, равной 300 Гц, т.е. длительность интервала повторения вычислений равна 3,3 мс.

В качестве языка программирования выбран язык Паскаль в операционной среде RT11, который позволяет включать в программу фрагменты на Ассемблере.

Система микропроцессорного управления осуществляет:

управление режимами работы, в частности, выбор одного из двух режимов — основного режима работы системы регулирования с объектом управления либо на этапе отработки ПО работы с программной моделью объекта управления. В основном режиме работы под управлением оператора производятся все операции по запуску системы управления: контролируется работоспособность аппаратуры, проверяется работа системы управления с простым программным иммитатором объекта управления без включения привода, после включения силового оборудования последовательно включаются и настраиваются контуры управления;

управление режимами наблюдения, регистрации и визуализации;

установка начальных значений коэффициентов;

наблюдение и изменение параметров.

Подсистема наблюдения позволяет отображать в реальном масштабе времени (с шагом периода квантования) переменные на экране осциллографа через модуль ЦАП. Система наблюдения обладает следующими характеристиками:

Число одновременно наблюдаемых величин	4
Общее число величин, доступных системе	150
Масштабный сдвиг	-16...+16
Диапазон выходного сигнала, В.....	-10...+10
Время выполнения программы отображения четырех величин, мкс	400

Подсистема регистрации обеспечивает запись во внутренний буфер заданных величин (с шагом периода квантования), просмотр буфера на экране

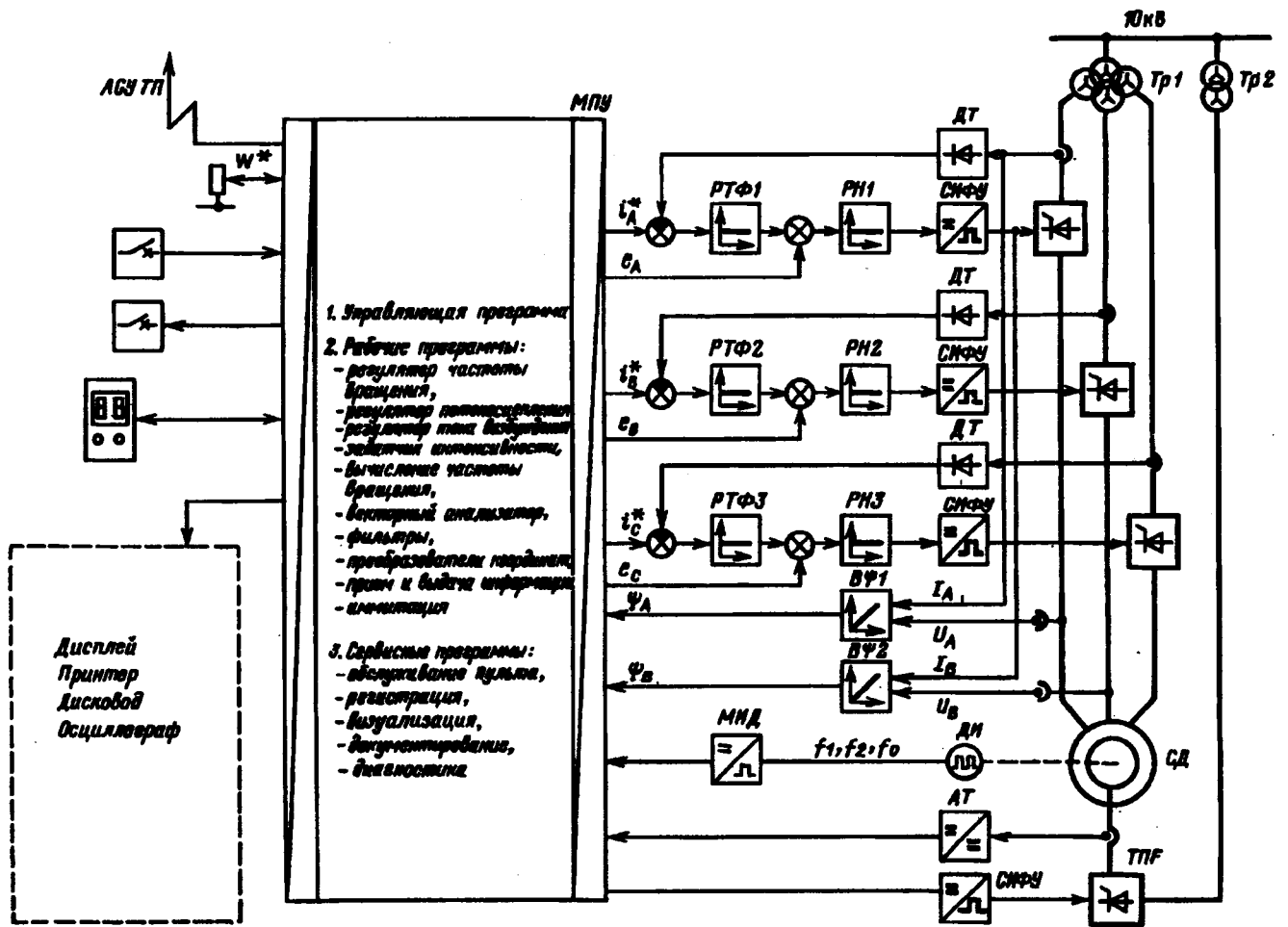


Рис.3. Система микропроцессорного управления синхронным двигателем:

МПУ — микропроцессорное устройство; ДТ — датчик тока; ДТФ — датчик тока возбуждения; ВФ1, ВФ2 — вычислители потокосцепления; f_1, f_2, f_0 — выходные сигналы датчика импульсов; I_A, I_B — фазные токи; U_A, U_B — фазные напряжения; ψ_A, ψ_B — потокосцепления фаз; e_A, e_B, e_C — ЭДС компенсации фаз; i_A^*, i_B^*, i_C^* — заданные значения тока; W^* — заданная скорость

терминала. Система регистрации обладает следующими параметрами:

Число одновременно регистрируемых величин.....	8
Общее число величин, доступных регистрации	150
Объем буфера регистрации, Кбайт	4
Время выполнения программы регистрации восьми величин, мкс	100

Программа, реализующая САР, построена по модульному принципу и является открытой для

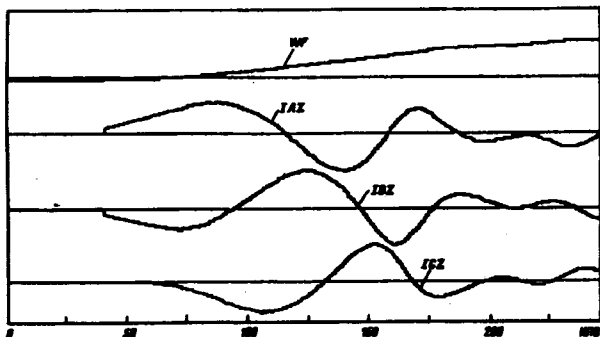


Рис.4. Осциллограмма пуска электропривода в системе без датчика:
 WF — скорость вращения СД; IAZ, IBZ, ICZ — заданные токи в фазах; ИПВ — количество интервалов повторения вычислений

расширения. Задачи, решаемые программой: прием информации и ее первичная обработка; управление САР в зависимости от сигналов управления электроприводом и признаков, задаваемых через пульт оператором; логические операции по программному управлению пуском и торможением; обработка сигналов датчиков и вычисление координат; регулирование скорости, потокосцепления, тока возбуждения и положения; необходимые преобразования координат; фильтрация сигналов; коррекция параметров для компенсации вычислительного запаздывания; реализация режима ослабления поля; вывод сигналов в аналоговую часть системы регулирования; организация быстрого цикла выдачи; формирование и вывод блокировочных сигналов.

При этом в программе реализуются следующие функции по управлению электроприводом: выбор способа задания скорости от АСУ, клавиатуры или с рабочего поста оператора; выбор режима — регулирование скорости или положения; формирование циклического прямоугольного сигнала задания по скорости, току возбуждения или потокосцепления для настройки регуляторов; обеспечение наладочного режима; разрешение работы и запуск регистрации.

Фоновая программа в той части, которая обеспечивает связь с оператором, построена в виде вложенных в меню, осуществляющих простой выбор необходимых функций.

В этой системе в одном микропроцессорном устройстве возможны два варианта системы регулирования: с использованием импульсного датчика положения ротора и без него. Система без датчика положения может использоваться как резервная.

Экспериментальное исследование САР проводилось с СД (116 кВ·А, 370 В, 210 А, 10 Гц, ток возбуждения 70 А) с импульсным датчиком (108 имп. на оборот). Статический момент на валу создается машиной постоянного тока.

На осциллограмме (рис. 4) показан режим пуска электропривода в системе без датчика.

На осциллограмме (рис. 5) показана реакция САР на возмущение по заданию в контуре регулирования скорости, при этом перерегулирование составляет 40%, а время первого достижения установившегося значения — 230 мс, т.е. 5 $T_{\mu\omega}$.

Список литературы

1. Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы на основе новых типов преобразователей частоты за рубе-

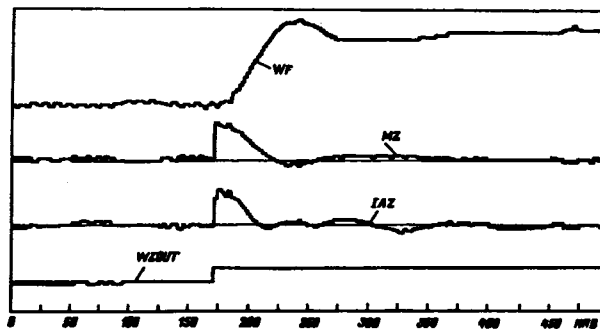


Рис.5. Осциллограмма реакции САР на возмущение по заданию:

WZOUT и WF — заданная и действительная скорости вращения; MZ — заданный момент; IAZ — заданный ток в фазе А

жом/Л.Х.Дацковский, Г.А.Зверев, В.Д.Кочетков и др.//Электротехническая промышленность. Сер. 08. Комплектные устройства управления электроприводами. Электропривод. М.: Информэлектро. 1987. Вып. 5 (21). С. 1—44.

2. Системы регулирования электроприводов переменного тока с микропроцессорным управлением/В.Д.Кочетков, Л.Х.Дацковский, А.В.Бирюков и др.//Электротехническая промышленность. Сер. 08. Электропривод. М.: Информэлектро. 1989. Вып. 26. С.1—80.

3. Системы подчиненного регулирования электропривода переменного тока с вентильными преобразователями/О.В.Слежановский, Л.Х.Дацковский и др. М.: Энергоатомиздат, 1983.

УДК 62-83:681.325.2

СИНТЕЗ УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

Д.Б.ИЗОСИМОВ

АО Европривод—Мицар, г.Москва

В настоящее время для построения регуляторов приводов в основном используются методы подчиненного регулирования, а для векторных систем управления — частотно-токовые системы [1]. Имеются отдельные примеры применения наблюдателей состояния, релейных регуляторов в скользящем режиме, ШИМ-контроллеров.

Предлагается использование универсальной алгоритмической базы построения электроприводов на основе комплекса современных (в том числе оригинальных) методов идентификации фильтрации и управления, что позволит синтезировать законы управления разнообразными приводами (от дешевых массовых приводов до уникальных сверхточных, высокодинамичных и т.п.) на основе единого структурированного подхода.

Алгоритмическая база строится исходя из следующих принципов:

векторное управление двигателями и силовыми преобразователями;

использование разностных моделей процессов в электроприводе;

возможность "наращивания" контуров, разделение темпов управления;

прямое цифровое управление силовыми преобразователями;

обеспечение линейного нагружения одно- и трехфазной питающей сети;

возможность идентификации переменных без использования датчиков механического движения (для всех типов двигателей);

цифровая автономная идентификация и фильтрация;

самонастройка (адаптация) основных параметров.

В статье описываются основные характеристики элементов алгоритмической базы управления, а также характеристики измерительных и исполнительных узлов как элементов системы управления электроприводом.

Элементы силовой схемы приводов. В электроприводе могут быть использованы основные типы существующих, а также перспективных силовых элементов — двигателей и силовых преобразователей, с произвольным питанием, числом фаз и т.д.

Алгоритмическая база рассчитана на применение основных типов двигателей переменного тока: асинхронного с короткозамкнутым ротором, син-

хронного с возбуждением от постоянных магнитов, синхронно-реактивного (явнополюсной синхронной машины с постоянными магнитами или без таковых, индукторного двигателя, двигателя с электромагнитной редукцией). Что касается вентилях и шаговых двигателей, то вследствие векторного управления силовым преобразователем их использование означает один из возможных режимов управления синхронным двигателем в рамках универсальной алгоритмической базы и не выделяется специально.

В качестве силовых преобразователей используются автономные двух- и трехфазные инверторы напряжения АИН, непосредственные преобразователи частоты (НПЧ) на управляемых ключах, НПЧ на вентилях с естественной коммутацией, инверторы тока на управляемых ключах.

Информационные системы электроприводов. В качестве первичных измерителей могут быть применены датчики тока и напряжения (делители напряжения, шунты, датчики Холла), датчики частоты вращения (тахогенераторы), датчики абсолютного положения (кодовые, аналоговые), датчики перемещения (электромагнитные, фотоимпульсные).

В качестве нового первичного измерителя механических переменных предлагается вращающийся трансформатор (ВТ) (резольвер, индуктосин), используемый в схеме включения с закороченной обмоткой ротора [3]. ВТ питается синусоидальным напряжением с амплитудами, пропорциональными синусу и косинусу угла поворота ротора. Информацию получают, измеряя токи его статорных обмоток. Функционирование такого измерителя-преобразователя обеспечивается следящей системой, формирующей оценку углового положения; при этом измерения используются в качестве рассогласования. Новая схема включения и компенсационный принцип измерения (наличие следящей системы) позволяют [3, 4]:

уменьшить количество проводных связей (4 вместо 6 в обычных используемых схемах включения ВТ);

обеспечить многофункциональность измерителя-преобразователя, т.е. одновременно оценивать положение, скорость и ускорение (момент нагрузки привода);

исключить динамическую ошибку измерения; резко повысить точность преобразования за счет фактического "сложения" разрядностей используемых цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей.

В некоторых случаях технические требования к приводу (диапазон регулирования скорости вращения, точность позиционирования или слежения) могут быть обеспечены без использования датчиков механических переменных. Тогда предлагается использовать подсистему — оценитель механических переменных по измерениям напряжений и токов обмоток статора [5]. Разработаны алгоритмы оценивания:

скорости вращения и магнитного поля (вектора потокоцепления) для асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;

скорости вращения и положения ротора неявнополюсного синхронного двигателя (для регулируемых и следящих приводов);

скорости вращения и положения ротора явнополюсного синхронного двигателя (для регулируемых, следящих приводов и приводов с позиционированием).

Диапазон регулирования скорости в таких приводах, как правило, относительно невелик, однако, наличие в системе оценивания динамической модели двигателя обеспечивает хорошие динамические характеристики в переходных процессах как регулирования скорости, так и сброса/наброса нагрузки привода. В случае явнополюсной машины вследствие несимметрии ротора идентификация положения по измерениям токов и напряжений статорных обмоток возможна при неподвижном роторе, что обеспечивает высокую точность измерения скорости и открывает возможность построения глубокорегулируемого привода, а также позиционного привода без датчика механического движения (например, шагового привода с программируемым дроблением шага).

Для обработки результатов измерений разработан автономный наблюдатель механических переменных [3]. В качестве измерений могут использоваться сигналы датчика механической переменной или выходные сигналы системы оценивателя. Алгоритм автономного наблюдения основан на обработке результатов предыдущих значений измеряемой переменной (в случае датчика положения — трех последних значений измерений положения). Независимо вычисляются значения скорости, ускорения, момента нагрузки. Такой наблюдатель функционально эквивалентен наблюдателю Люенбергера с конечношаговой сходимостью [6]. Автономность вычислений позволяет ограничивать результаты "диких" измерений, вызываемых помехами, использовать разнотемповость процесса вычислений по разным переменным.

Поставлена и исследована задача оптимизации процесса оценивания, порождаемого действием неконтролируемых внешних возмущений, не учитываемых использованной математической моделью процессов [3]. Пример такой ситуации в электроприводе — идентификация процесса, вызванного скачкообразным изменением момента нагрузки. Типовой процесс оценивания в этом случае характеризуется известными значениями скорости вращения и положения в момент изменения нагрузки привода; все последующие рассогласования оценки измеряемой переменной (например, углового положения) порождены именно изменением момента нагрузки. Рассматриваемая постановка отличается от традиционной постановки задачи идентификации начальных значений всех переменных [6] и заключается, например, в задаче (наискорейшего) оценивания

только одной переменной — момента нагрузки. Решение этой задачи приводит к нетрадиционной структуре наблюдателя. Идентификация нового значения момента нагрузки происходит за один цикл вычислений при сохранении заданной степени устойчивости процедуры оценивания остальных переменных.

Использование оптимального наблюдателя в приводе позволяет существенно повысить динамическую точность системы обработки результатов измерений, резко повысить жесткость привода. Алгоритм идентификации весьма экономичен по требуемому количеству вычислений и затратам времени; разработанный идентификатор можно применять практически во всех цифровых приводах, построенных по принципу обратной связи.

Целесообразно совместное использование систем идентификации с системами фильтрации измерений или вычислений переменных состояния. Разработан эффективный автономный фильтр, позволяющий проводить оптимальную фильтрацию измерений и вычислений, повысить точность оценок при сравнительно небольших вычислительных затратах [3].

В современных следящих и регулируемых приводах представляется совершенно необходимым автоматизация процесса настройки параметров системы управления при применяемых конкретных силовых элементах и в конкретных условиях работы привода.

Разработан алгоритм идентификации момента инерции [3], обеспечивающий самонастройку по текущему совокупному моменту инерции двигателя и нагрузки в режиме функционирования привода. Процесс настройки момента инерции является нелинейным и происходит лишь при достаточно "больших" ускорениях, когда неточность задания момента инерции проявляется существенно.

Другой адаптивный идентификатор — идентификатор электромагнитных постоянных и активных сопротивлений обмоток. Эти параметры оцениваются одновременно с процессом управления по измерениям токов и напряжений обмоток (возможно сочетание работы системы адаптации и системы оценивания механических переменных).

Алгоритмы управления силовыми преобразователями.

Векторный синусоидальный ШИМ для АИН. Векторная (синусоидальная) широтно-импульсная модуляция (ШИМ) для автономного инвертора напряжения (АИН) понимается здесь как метод управления, при котором среднее за период модуляции выходное напряжение АИН (вектор напряжения) совпадает с заданным значением. Основная идея разработанного симплексного алгоритма ШИМ управления АИН [7, 8] состоит в использовании трех векторов мгновенных напряжений, наиболее близких к требуемому среднему напряжению. Векторный (симплексный) ШИМ обеспечивает высококачественную синусоидальную мо-

дуляцию выходного напряжения с регулируемой амплитудой и частотой (фазой).

Основные технические характеристики ШИМ АИН

Частота, кГц.....	1—20
Частота обновления информации, кГц, не более.....	5
Разрядность задания частоты	16
фазы	9
амплитуды	8
Число переключений силовых ключей на период..	4

Симплексный алгоритм векторной широтно-импульсной модуляции напряжения обеспечивает расширение диапазона использования инвертора по напряжению в $(2/\sqrt{3})$ раза, автоматическую компенсацию пульсаций напряжения питания инвертора напряжения, снижение числа переключений на периоде модуляции в 1,5 раза и увеличение минимальной длительности между фронтами импульсов управления в два раза по сравнению с синусоидальной "ШИМ-модуляцией на пилообразном сигнале".

Испытан макетный образец ШИМ-контроллера на базе INTEL 8051, INTEL 80198, программируемой логической интегральной схемы [9].

Векторный синусоидальный ШИМ с линейным регулируемым нагружением питающей трехфазной сети для НПЧ на управляемых ключах. С помощью непосредственного преобразователя частоты (НПЧ) можно обеспечить не только высококачественное выходное напряжение, но одновременно обеспечить решение другой задачи — линейного нагружения питающей сети (понимаемого как синусоидальное изменение средних за период модуляции значений тока в фазах сети). Разработанный алгоритм ШИМ НПЧ [10] обеспечивает, кроме высококачественного формирования выходного напряжения, линейный активный характер НПЧ как нагрузки сети (коэффициент мощности равен единице) независимо от параметров нагрузки и без измерения тока в нагрузке. Основные технические характеристики ШИМ НПЧ аналогичны характеристикам ШИМ АИН.

Векторное управление НПЧ на вентилях с естественным запирающим. Для НПЧ на вентилях с естественной коммутацией предложен векторный алгоритм управления 18-вентильным преобразователем [11], позволяющий получить выходные частоты f_2 , равные $f_1 m / (m + 2n)$, где m и n — произвольные (неотрицательные) целые числа (значения m и n имеют смысл долей времени реализации прямой последовательности соединения входных и выходных фаз НПЧ и переходных последовательностей соответственно на периоде коммутации). Алгоритм обеспечивает непрерывность тока, отсутствие постоянной составляющей и симметрию напряжений фаз нагрузки.

Управление инверторами тока. Инверторы тока на управляемых силовых ключах представляют оригинальные силовые преобразователи [2]. Инверторы тока могут быть использованы в схемах

питания звена постоянного тока, например, в качестве корректора коэффициента мощности (с рекуперацией энергии в сеть) или в качестве комплектного силового преобразователя для питания двигателя от сети постоянного, одно- или трехфазного переменного тока.

Инверторы тока имеют следующие функциональные свойства:

непрерывное выходное напряжение с низким содержанием гармоник;

потенциальная изоляция входных и выходных цепей (на закрытом $p-n$ -переходе), повышенная электробезопасность;

обмен энергией между питающей сетью и потребителем;

пониженные коммутационные потери (коммутация силовых ключей при нулевом напряжении на них).

Разработаны алгоритмы управления инверторами тока с питанием от сети постоянного тока, одно- или трехфазной сети переменного тока, с постоянным или переменным двух- или трехфазным выходным напряжением. Разработаны схемы контроллеров для управления однофазными инверторами тока.

Регуляторы электроприводов.

Программные модули регулирования механических и электромагнитных переменных (положение, скорость, ускорение, электромагнитный момент, потокоцепление, активная и реактивная составляющие тока) строятся по принципу векторного управления движением электрической машины [12]. Модули рассчитаны на построение одноконтурных систем управления (при пренебрежении динамикой статорных цепей) или двухконтурных систем с промежуточным контуром регулирования тока. Входной информацией для регулятора являются оценки переменных состояния, полученные подсистемами обработки результатов измерений, а также задания регулируемых величин.

Структуры систем управления электроприводами.

Исходными данными для построения систем управления являются типы применяемых двигателей, силовых преобразователей, нагрузки, режим работы; состав первичных измерителей; диапазоны изменения параметров; точности, диапазоны, уровни ограничения переменных; уровень диагностирования; интерфейс. Состав исходных требований в отдельных случаях может дополняться и видоизменяться. Структура системы управления определяется выбранным набором конкретных модулей управления и соответствующих средств аппаратной поддержки.

Состав силовых элементов и первичных измерителей может быть самым разнообразным в зависимости от назначения и требуемых характеристик привода. В простейших приводах, построенных по разомкнутому принципу (программного управления, датчики могут отсутствовать или использоваться только как элементы защиты и ди-

агностики, т.е. не для выполнения функций регулирования. В системе управления таких приводов используются модуль технологического управления (программируемый задатчик режима работы) и один из модулей управления силовым преобразователем. В более сложных приводах возможно использование первичных измерителей только электрических параметров статорных обмоток или только механических переменных ротора (частоты, положения, перемещения) или их совместное использование.

Универсальная алгоритмическая база — инструментальное средство для проектирования устройства управления. При этом не предъявляются какие-либо дополнительные требования к применяемым силовым и измерительным элементам; предлагаемая алгоритмическая база лишь позволяет более полно реализовать их функциональные возможности.

Алгоритмическая база является развивающейся системой. Возможно дополнение этой базы новыми алгоритмическими программными и программно-аппаратными модулями. При построении этих модулей могут использоваться как более сложные модели процессов, построенные, например, с учетом гибких механических связей (двухмассовой модели), так и упрощенные модели, построенные при пренебрежении динамической составляющей относительно быстропротекающих процессов, а также новые типы первичных измерителей и силовых преобразователей.

В то же время встает вопрос об организации разработки универсальных и специальных унифицированных технических средств управления (аппаратных, программных модулей, микроконтроллеров), а также интегральных силовых и управляющих модулей, позволяющих гибко формировать управляющее устройство с требуемой структурой и характеристиками в составе привода и совместимых с универсальной алгоритмической базой управления приводами.

Следует избегать применения аппаратных и программных средств, не обладающих необходимой гибкостью для модификации привода, так как иной подход, кроме весьма значительных первоначальных затрат, требует дополнительных, часто еще больших затрат на модернизацию и обслуживание неудачно спроектированной продукции. Роль координатора при разработке привода должны выполнять не специалисты по цифровой технике, силовой электронике или электрическим машинам, а специалисты по проектированию системы управления и всем вопросам функционирования привода как системы и возможностей ее развития. Особенное значение это имеет при разработке новой техники для массового применения.

Список литературы

1. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. М.: Энергия, 1979.
2. Андригетис Д.Г., Иванов А.В., Изосимов Д.Б. Инвертор тока на полностью управляемых ключах//Тезисы докладов на-

учно-технического семинара "Современный регулируемый электропривод малой и средней мощности на основе интеллектуальной силовой электроники и микропроцессорных средств управления". М.: МЭИ. 1994, Февраль.

3. Izosimov D.B., Shevtsov S.V. Precision multifunctional digital sensor based on rotary transformer for micro robots// Proceedings of 1-st Workshop on Micro Robotics and Systems. Karlsruhe. Germany, 1993, June.

4. Shevtsov S.V., Izosimov D.B. High precision digital drive with multifunctional sensor based on rotary transformer// Proceedings of NATO Advanced Study Institute "Modern Electrical Drives". 1994. Jan. — Feb. Antalya—Turkey.

5. Рыбкин С.Е. Регулируемый электропривод без датчиков механических координат//Тезисы докладов научно-технического семинара "Современный регулируемый электропривод малой и средней мощности на основе интеллектуальной силовой электроники и микропроцессорных средств управления". М.: МЭИ. 1994. Февраль.

6. Kwakernaak H., Sivan R. Linear optimal control systems. Wiley—Interscience, 1972. Inc.

7. Изосимов Д.Б., Рыбкин С.Е., Шевцов С.В. Симплексные алгоритмы управления трехфазным автономным инвертором напряжения //Электротехника. 1993. № 12.

8. Кривошосов А.И., Кулаков А.А., Шатагов А.И. Микропроцессорный контроллер для векторного широтно-импульсного управления трехфазным автономным инвертором напряжения//Тезисы докладов научно-технического семинара "Современный регулируемый электропривод малой и средней мощности на основе интеллектуальной силовой электроники и микропроцессорных средств управления". М.: МЭИ. 1994. Февраль.

9. Алгоритмы широтно-импульсной модуляции непосредственным преобразователем частоты на полностью управляемых ключах с регулируемым потреблением реактивной мощности /Д.Б.Изосимов, Т.В.Мисак, С.Е.Рыбкин и др.//Международная научно-техническая конференция "Силовая электроника в решении проблем ресурсо- и энергосбережения". Киев: ИЭД. 1993. Ноябрь.

10. Изосимов Д.Б. Новые алгоритмы управления непосредственным преобразователем частоты//Тезисы докладов научно-технического семинара "Современный регулируемый электропривод малой и средней мощности на основе интеллектуальной силовой электроники и микропроцессорных средств управления". М.: МЭИ. 1994. Февраль.

11. Изосимов Д.Б., Рыбкин С.Е. Скользящий режим в электроприводе. Аналитический обзор /Препринт. М.: Институт проблем управления РАН. 1993.

ПРИКЛАДНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ МАССОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Н.Ф.ИЛЬИНСКИЙ

МЭИ

Совершенствование элементной базы современного массового электропривода, главным образом, появление в его составе электрических преобразователей и новых средств управления, широко освещается на профессиональных конференциях, в технической периодике, результаты представляются на многочисленных выставках и ярмарках и в целом хорошо известны специалистам.

Менее развито и соответственно менее известно другое, но тоже существенное направление развития этой области техники — поддержка рациональных технических решений в конкретных применениях и сопровождение электропривода на стадии эксплуатации у конечного пользователя в реальных условиях.

Известны примеры, когда нормальные элементы, нерационально скомпонованные в систему, приводили к очень плохим результатам. Так, хорошие асинхронные двигатели с фазным ротором, применявшиеся одной из зарубежных фирм в электроприводах приемных устройств ряда волоочильных станков, при невысоком качестве намотки проволоки, разоряли пользователей, поскольку потери составляли 95% (9,5 из 10 кВт в каждом приводе). Нерационально спроектированная ременная передача может уменьшить на 10—15% КПД электропривода, резко сократив в к тому же срок службы подшипников в двигателе. Неоправданные запасы в установленных мощностях двигателей насосов и вентиляторов приводят к трудно обнаруживаемым, но иногда очень существенным лишним затратам на энергию. Службы эксплуатации насосного или вентиляторного хозяйства

иногда и не подозревают, что в их условиях недешевый на первый взгляд преобразователь частоты окупится за несколько месяцев. И наоборот, в другом случае модное "усовершенствование" в виде такого же преобразователя ничего, кроме хлопот не доставляет.

Очевидно, что хорошая элементная база составляет необходимое, но не достаточное условие создания совершенного технического решения. Ситуация усугубляется в тех, к сожалению, очень нередких случаях, когда система комплектуется из случайных составляющих при недостаточной квалификации персонала. Это особенно характерно для сферы массового электропривода (насосы, вентиляторы, общепромышленные механизмы и т.п.), считавшегося до недавнего времени мало интересным для профессионалов: дешевая энергия, дешевые двигатели.

Изменение экономической ситуации: дорогая энергия, дорогие двигатели и т.п. — порождает серьезные проблемы именно в этой сфере и вызывает необходимость поиска путей их решения.

Очевидно, лучший, но и самый дорогой и, по-видимому, нереальный путь — быстрое привлечение в сферу массового электропривода профессионалов высокого уровня, направленная переподготовка кадров.

Другой, более реальный путь — создание консультационных центров по западному образцу, оказывающих квалифицированные услуги. Здесь полезную роль могли бы сыграть уже готовые коллективы профессионалов в НИИ, КБ, на кафедрах ВУЗов.

Третий путь, не противоречащий первым двум, мог бы состоять в целенаправленном использовании возможностей современной компьютерной техники, доступной сейчас практически повсеместно, для поддержки деятельности технического персонала, принимающего решения, обеспечивающего комплектацию и функционирование массового электропривода.

При громадном количестве различных пакетов компьютерных программ лишь единицы относятся к электроприводу, да и к электротехнике в целом, но все-таки они есть. Среди них — пакет программ МАСС (МЭИ), позволяющий анализировать и синтезировать на структурном и параметрическом уровне системы автоматического регулирования, аналогичные пакеты, разработанные в Екатеринбурге, в Лунде (Швеция) — Simnon, Simulink пакет фирмы VEM Antribstechnik (Дрезден) для выбора двигателя и других компонентов электропривода, пакет фирмы RIEA (Швеция), поддерживающий выбор электролитических конденсаторов, ряд пакетов различного назначения, разработанных в МЭИ.

Приведенный, конечно, неполный перечень свидетельствует о появлении на рынке нового товара — прикладных компьютерных программ, поддерживающих деятельность специалистов в области электропривода и относящихся к САЕ (Computer Aided Engineering). Как и всякий новый товар, программы САЕ иногда еще несовершенны, принимаются с некоторым недоверием, с осторожностью. И как всякий новый перспективный товар он заслуживает внимания.

В последние годы на кафедре автоматизированного электропривода МЭИ разработаны пакеты прикладных программ, обслуживающие массовый электропривод (аннотации ряда таких пакетов приведены в этом номере журнала):

— IMOFA MOTOR SELECTION (IMS), v. 1.0—3.1 ("Выбор двигателей фирмы ИМОФА", версии 1.0—3.1).

— GENERAL PURPOSE INDUCTION MOTORS (GPIM), v.1.0 ("Общепромышленные асинхронные двигатели", версия 1.0).

— BEARINGS IN IMOFA MOTORS (BIM), v.1.0 ("Подшипники двигателей ИМОФА", версия 1.0).

— BEARINGS IN AAC INDUCTION MOTORS (BACIM), v.1.0 ("Подшипники в асинхронных двигателях", версия 1.0).

— CENTRIFUGAL FANS. DUTY CONTROL AND ENERGY SAVING (CF), v.1.0 ("Центробежные вентиляторы. Управление режимом и экономия энергии", версия 1.0).

— V-BELT TRANSMISSION (VBT), v.1.0 ("Ременные передачи", версия 1.0).

Пакеты IMS, BIM, выполненные по заказу фирмы "ИМОФА" (Голландия, Германия, Англия, Ирландия), отражают специфику продукции этой фирмы и, строго говоря, не являются товаром широкого применения. Однако опыт, приобретенный в процессе создания этих пакетов, позво-

лил перейти к разработке инвариантного программного продукта — пакеты GPIM, BACIM, CF и др. и сформулировать некоторые общие наблюдения.

После представления ряда версий пакета IMS на международных выставках и ярмарках (Ганновер, Лондон, Париж, Утрехт и др.) и обсуждений с потенциальными пользователями сформировалось мнение о рациональной структуре главного меню программ такого типа.

Технические данные — база данных элементов, относящихся к программе; объем и глубина базы данных определяются назначением программы; так, в программу IMS в базу данных по двигателям включены экспериментальные зависимости тока, мощностей, КПД, $\cos\varphi$, температур и пр. от напряжения и момента нагрузки для каждого типоразмера, ответы на многочисленные вопросы типа "что если" и т.п.; в базу данных CF входят основные технические данные наиболее распространенных вентиляторов и двигателей единой серии и т.п.

Описание объекта — конкретное, опирающееся на базу данных представление именно того объекта, применительно к которому будут осуществляться все дальнейшие действия: конкретный механизм, для которого будет подбираться двигатель (GPIM), конкретный двигатель, подшипники которого будут проверяться в различных условиях (BACIM) и т.п.; в ряде программ выделение этого раздела из общих технических данных оказывается весьма удобным.

Выбор — нахождение допустимого набора недостающих элементов (вентиляторов и двигателей, если заданы расчетные расход и давление в вентиляционной системе; подшипников, если задан двигатель; параметров ременной передачи, если заданы передаваемая мощность, скорость, передаточное число и т.п.).

Проверка установление характера влияния изменяющихся условий работы на главные (определяющие) свойства объекта с выбранными или установленными ранее элементами (сравнение вариантов по энергопотреблению, оценка срока окупаемости более дорогих вариантов и т.п. при работе вентилятора в различных условиях; определение срока службы подшипников при работе привода в любых заданных условиях; оценка потерь в ременной передаче в различных режимах и т.п.). Эта часть программы вместе с развитой базой данных строится подобно экспертной системе: "что будет, если ...".

Помощь — комментарии, пояснения и т.п.

Доступ к разделам осуществляется через меню; внутри раздела возможен как последовательный переход от фрагмента к фрагменту, так и использование позиций подменю.

Поскольку прикладные программы такого типа предназначены для использования персоналом, часто весьма далеким от вычислительной техники, исключительно важную роль играет дружественный пользовательский интерфейс. Любые, даже

мелкие невнятности, недосказанности, двусмысленности делают программу непривлекательной, и многие пользователи предпочитают вовсе не пользоваться ею, если требуются усилия на освоение. В профессиональных программах, как показал опыт, вся необходимая информация должна содержаться в самой программе; сочетание программы с каким-либо другим необходимым для работы источником информации (каталогом, справочником и т.п.) отрицательно воспринимается пользователем.

Информация, содержащаяся в программе, должна быть легко изменяема, чтобы убрать ненужное или добавить новое. По-видимому, целесообразно иметь три уровня доступа к информации: уровень пользователя — работа с меню и своими экранами; уровень дилера или обладателя дистрибутивов — изменение текущей информации (некоторые технические данные и т.п.); уровень разработчика — изменения алгоритмов, структуры, переход на другой язык и т.п.

Разработка хорошей прикладной программы — дорогое и трудоемкое дело: дорогостоящее оборудование, дорогие программные средства, большие затраты труда квалифицированных разработчиков. В некоторых серьезных, обычно заказных программах существенные трудовые затраты (иногда более 50%) приходится на получение исходной информации. Так, разработке программы IMS предшествовали обширные экспериментальные исследования большой партии двигателей, программа ВМ основана на специальных экспериментальных тепловых и других моделях двигателей и т.п. Коммерческие варианты указанных программ построены на обстоятельных обобщениях разнопланового теоретического и экспериментального материала. Опыт показал, что успех в создании прикладных программ может быть достигнут лишь при непрерывном и очень тесном взаимодействии узких специалистов в области конкретного объекта и системных программистов. Еще лучше, если их создает уникальный специалист, соединяющий в одном лице обе эти профессии.

Большие трудовые затраты могут окупиться лишь в случае заказных программ, однако их вряд ли может быть много: только процветающие фирмы, заботящиеся о своем престиже и об устойчивом успехе в конкурентной борьбе могут позволить себе роскошь делать такие заказы.

Коммерческие профессиональные программы, также требующие значительных и долговременных инвестиций, по-видимому, могут быть рентабель-

ными лишь при условии их многотиражности, т.е. в том случае, если они ориентированы на широкий круг пользователей и имеют спрос, так как приносят очевидную пользу. Представляется, что к таким пакетам могли бы относиться упомянутые GPIM, BACIM, CF и аналогичные, поскольку в промышленности, в коммунальном хозяйстве, в других сферах есть много электриков и энергетиков, заботящихся о правильном выборе, об экономичности и надежности своего оборудования, а подобные программы могли бы резко повысить эффективность их труда. Хотя есть уже и отрицательный опыт: руководители ряда предприятий считают, что к ним пора компьютеров еще не пришла. За этим стоит, конечно, отсутствие настоящей конкуренции, легкая возможность включить лишние издержки в цену продукта или услуги.

Немалые возможности в увеличении тиража, по крайней мере, в условиях Запада, открывает адаптация профессиональных программ к образовательным целям, в частности, к переподготовке специалистов. Так, упоминавшийся ранее пакет Simpon (Швеция) в профессиональном варианте стоит на 40% дороже, чем 10 копий упрощенной студенческой версии с лицензией на использование в классе с 16-ю компьютерами. Пока не ясно, будет ли такая адаптация эффективна в наших условиях, при наших небогатых вузах, не сформировавшейся еще в полной мере системе переподготовки кадров. И, разумеется, и разработчикам, и инвесторам надо заботиться о рекламе. Видимо, лучший ее вид — сообщения пользователей об опыте их работы с новым продуктом, о его положительных и отрицательных сторонах. Здесь большую и очень полезную роль могли бы сыграть технические журналы.

Итак, появился новый товар на электротехническом рынке и, в частности, в массовом электроприводе — прикладные компьютерные программы САЕ-типа. Он будет мощно пробивать себе дорогу в мире: в недалеком уже будущем, как предсказывают специалисты компьютерной фирмы "Apple", демонстрируя свои увлекательные ролики "Штурман в области знаний", эти первые робкие и пока разрозненные прикладные компьютерные программы объединятся в серьезную базу знаний по отраслям. Пока мы не отстали, пожалуй, даже впереди наших западных коллег, по крайней мере, в области, о которой была речь в статье. Удастся ли сохранить этот наметившийся приоритет — покажет жизнь.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДЛЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

А.В.КУДРЯВЦЕВ, Д.Д.БОГАЧЕНКО, А.Н.ЛАДЫГИН, А.А.НИКОЛЬСКИЙ, Г.М.ФЕДОРОВ

МЭИ

На кафедре автоматизированного электропривода Московского энергетического института ведутся работы по созданию преобразователя частоты (ПЧ) на транзисторах для частотно-регулируемого асинхронного электропривода. В результате работы подготовлен к серийному производству ряд ПЧ мощностью от 5 до 30 кВА и плавной регулировкой выходной частоты в диапазонах 0—100; 0—400; 0—1000; 0—2000 Гц. Все ПЧ разработанного ряда имеют унифицированные схемные решения, отличающиеся простотой силовой части.

Разработанные преобразователи прежде всего предназначены для электроприводов высокоскоростных технологий (станки, центрифуги и т.п.), где в настоящее время наблюдается тенденция увеличения мощности используемых высокоскоростных асинхронных двигателей. Кроме того, подобные ПЧ могут быть применены при реализации энергосберегающих технологий, где становится актуальным использование регулируемых электроприводов для широкого класса общепромышленных механизмов (вентиляторы, насосы и т.п.).

Разработанные ПЧ выполнены по схеме выпрямитель — автономный инвертор напряжения (АИН). Регулирование напряжения на выходе ПЧ широтно-импульсное с модуляцией по синусоидальному или прямоугольному закону в зависимости от требуемой частоты на выходе преобразователя.

В АИН применены IGBT модули, которые при номинальных токах от 25 до 150 А содержат в одном корпусе два последовательно соединенных транзистора с включенными параллельно им обратными диодами. Допустимое напряжение кол-

лектор — эмиттер транзисторов до 1200 В, напряжение транзистор — корпус модуля 2,5 кВ. Транзисторы IGBT модулей разработаны специально для мощных ключевых схем, и фирмы-изготовители в технических данных кроме обычных параметров, характеризующих статические и динамические свойства, приводят зависимости допустимых значений тока коллектора (i_k) и напряжения коллектор — эмиттер ($u_{к.э}$) в процессе выключения транзистора. Пример такой зависимости для модуля FF100R1200KF (ток коллектора 100 А, напряжение 1200 В) фирмы AEG приведен на рис. 1. По существу эти зависимости являются предельными траекториями при выключении транзистора и обеспечивают возможность выполнения АИН практически без специальных средств формирования траекторий переключения. В совокупности с достаточно высоким рабочим напряжением IGBT модулей эти характеристики позволили выполнить простой по схеме и надежный АИН.

По входным характеристикам IGBT модули аналогичны полевым транзисторам с изолированным затвором. Для примененной в ПЧ схемы выходных усилителей (ВУ) системы управления сняты экспериментальные зависимости тока потребления одного усилителя от частоты переключения f_k , изображенные на рис. 2. Здесь приведены зависимости при работе с IGBT модулями, номинальные токи которых равны 50, 75 и 100 А. На рис. 2 соответственно кривая 1 — для модуля BSM50GB1000 ("Siemens", ФРГ); 2 — для модуля

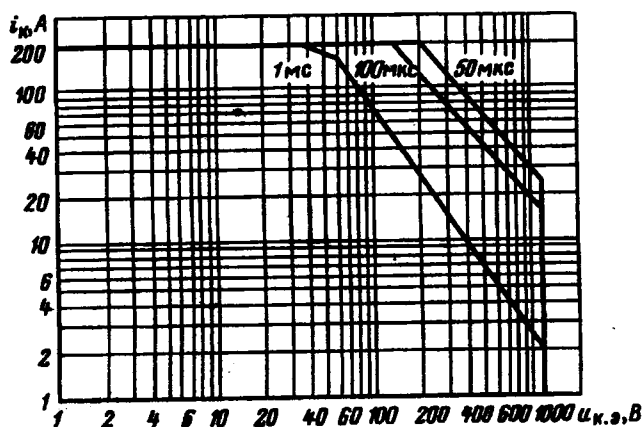


Рис. 1

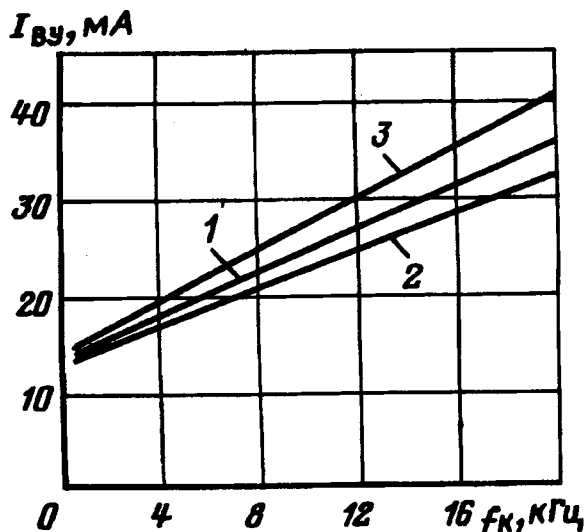


Рис. 2

MG75Q2YS1 ("Toshiba", Япония); 3 — для модуля FF100R1200 (AEG, ФРГ).

Небольшая мощность управления, даже при частотах переключения транзисторов до 20 кГц, позволила не только уменьшить габариты выходных усилителей системы управления, но и применить для всего ряда ПЧ одну и ту же схему ВУ, т.е. унифицировать систему управления (СУ).

Система управления имеет простейшую структуру, обеспечивающую применение разработанных ПЧ как в регулируемом асинхронном электроприводе общепромышленных механизмов, так и в электроприводах высокоскоростных установок с сравнительно простыми технологическими требованиями. Функциональная схема СУ ПЧ приведена на рис. 3. Пунктиром показано распределение функциональных элементов схемы управления ПЧ по конструктивным блокам.

Пульт управления (ПУ) содержит задатчик частоты (f_3), блок команд ("Пуск", "Стоп", "Вперед", "Назад") и блок светодиодных индикаторов сигналов ("Готовность", "Работа", вращение "Вперед", вращение "Назад", "Авария").

Выходной усилитель — шестиканальный.

Обработка команд и сигнала задания осуществляется в основном блоке системы управления. Выполнение логических команд обеспечивается в блоках триггеров команд (ТК) и триггеров блокировок (ТБ). Управление частотным пуском и торможением при постоянном сигнале задания f_3 или его изменении выполняется задатчиком интенсивности (ЗИ) в соответствии с подаваемыми на него аналоговыми и логическими сигналами. Темп изменения частоты при пуске (Δt_n) и торможении (Δt_T) может задаваться независимо друг от друга.

Системой управления ПЧ контролируются ток инвертора (I_n), напряжение на входе инвертора (U_n) и абсолютная температура (t) охладителя транзисторов инвертора и двигателя электропривода. Эти сигналы поступают в блок защиты (БЗ). Превышение заданных допустимых величин приводит к отключению ПЧ, закрыванию всех транзисторов АИН и появлению на ПУ сигнала "Авария".

Назначение остальных блоков СУ понятно из их обозначений: ГНЧ — генератор несущей частоты (частоты переключения f_k); МН — модулятор канала напряжения; ЗГ — задающий генератор канала частоты f , содержащий преобразователь напряжение—частота и пересчетную схему для получения трехфазного сигнала; М — модулятор сигналов управления, на выходе которого образуются ШИМ-сигналы управления; КП — формирователь коммутационных пауз.

Увеличение задания темпа торможения до значения, выше допустимого, в ПЧ без рекуперации энергии в сеть или рассеивания ее в дополнительном резисторе приведет к опасному для транзисторов повышению напряжения на входе АИН. В таком режиме СУ обеспечивает автоматическое регулирование темпа торможения, поддерживая

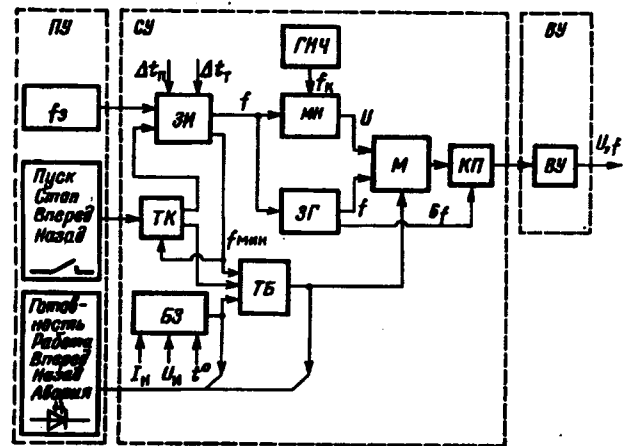


Рис. 3

входное напряжение АИН на заданном уровне, безопасном для транзисторов.

Для электроприводов, в которых необходимо уменьшение времени торможения, разработан внешний резистивно-транзисторный блок, подключаемый к ПЧ. Конструктивное исполнение тормозного блока как дополнительного внешнего устройства дает возможность использовать в большинстве электроприводов более простой и дешевый основной блок ПЧ.

Конструктивно ПЧ выполнен в навесном варианте с принудительным воздушным охлаждением. Использование в силовой части модулей с изолированным корпусом упростило конструкцию ПЧ, в которых общий заземленный охладитель является основным несущим элементом, и позволило получить удельные габаритные показатели $2,2-2,5 \text{ дм}^3/(\text{кВ}\cdot\text{А})$.

Испытания ПЧ в диапазонах частот до 100 Гц проведены при работе на АД общепромышленной серии, до 400 Гц — на электрошпиндель, до 2000 Гц — на активно-индуктивную нагрузку. На рис. 4 приведена экспериментальная зависимость полных потерь в ПЧ ($\Delta P_{ПЧ}$) от его тока нагрузки. Зависимость получена при работе ПЧ, номинальная выходная мощность которого 10 кВ·А, на АД мощностью 7 кВт при $f = 45 \text{ Гц}$ и $f_k = 8 \text{ кГц}$. Потери в преобразователе частоты определены по тарировочной кривой "потери—перегрев" при тепловых испытаниях ПЧ. В частности, номинальному току двигателя 27 А при полных потерях в преобразователе $\Delta P_{ПЧ} = 360 \text{ Вт}$ его

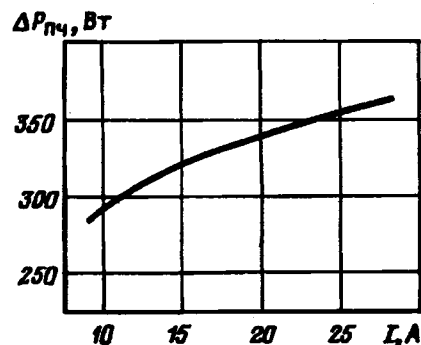


Рис. 4

перегрев составил 58°C.

Проведенные испытания подтвердили надежность работы ПЧ при расчетных параметрах и обоснованность принятых схемных решений, обеспечивающих удобное и простое управление частотно-регулируемым электроприводом.

Список литературы

1. Lorenz L. Der IGBT—ein Leistungs halbleiter—Schalter mit vielen Anwendervorteilen //Der.Elektroniker. 1990. № 10.
2. Dewar S. IGBT Driver Applications (Part 1,2)//PCIM Europe. Jan/Feb. 1993. Marc/Apr. 1993.
3. Alderman A., Clemente, Taylor B. Integrated Drivers for Power MOSFETS and IGBTs//PCIM Europe. 1993.Jul./Aug.

УДК [62-83::621.313.333]:621.316.544.1

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОННЫМ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ТИРИСТОРНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ

И.Я.БРАСЛАВСКИЙ, А.М.ЗЮЗЕВ, С.И.ШИЛИН

Уральский государственный технический университет, г. Екатеринбург

Теоретические и экспериментальные исследования электропривода (ЭП), построенного по системе тиристорный преобразователь напряжения — асинхронный двигатель (ТПН—АД), позволили обосновать рациональные области его применения [1]. Указанный тип ЭП можно рекомендовать в качестве исполнительного для механизмов кранов-штабелеров, транспортных манипуляторов, автооператоров гальванических линий и др. Анализ режимов работы перечисленных механизмов,

а также принципы построения систем технологической автоматики позволяют сформулировать общие требования к электроприводу. Это, в частности, обеспечение плавного разгона и торможения, позиционирование с точностью до 30° по валу двигателя, регулирование скорости при полосе пропускания контура скорости не ниже 6 Гц, возможность обмена информацией и управление от ЭВМ более высокого уровня или от пульта оператора. Последние достижения в области мик-

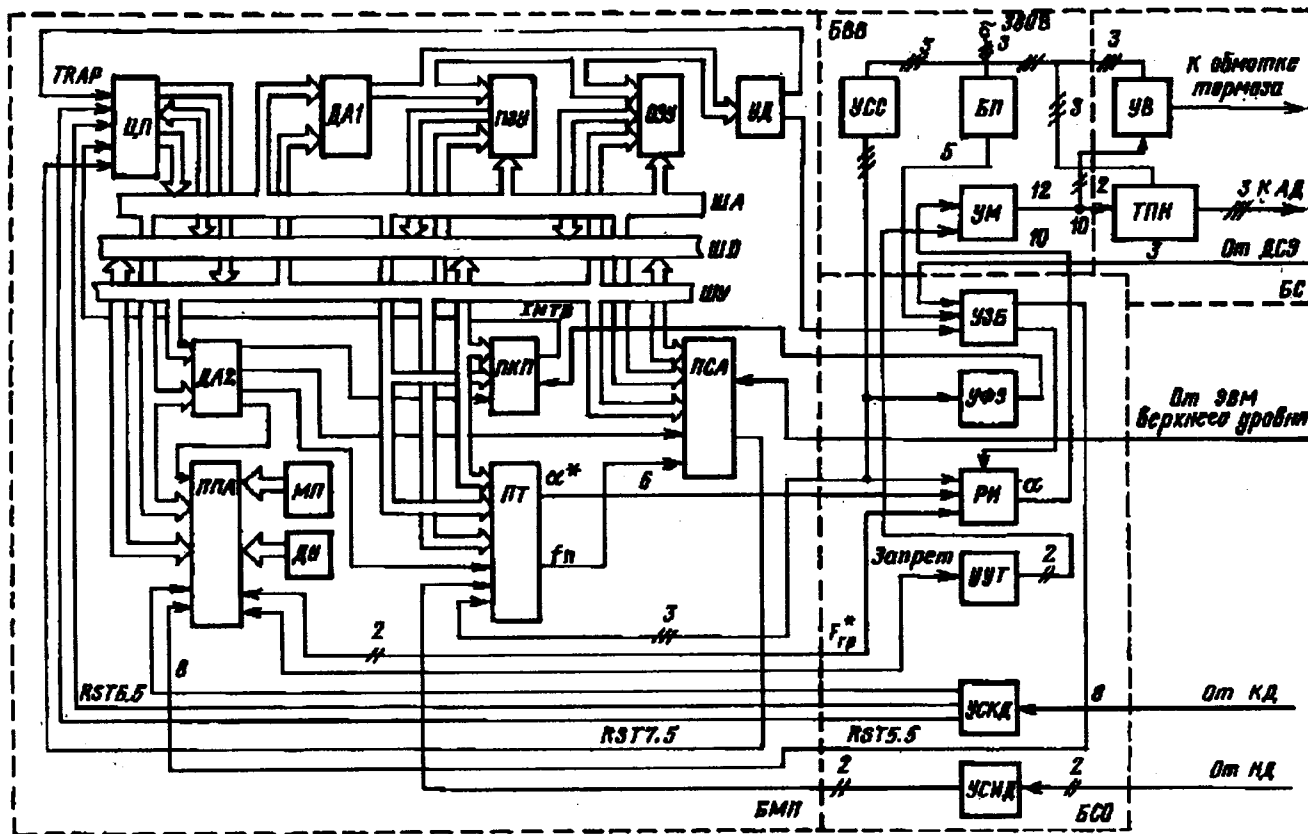


Рис. 1

розлектроники и дальнейшее развитие теории цифровых систем управления скоростью АД [2] позволили осуществить разработку специализированного контроллера для управления исполнительным асинхронным ЭП.

Структурная схема микропроцессорного контроллера приведена на рис. 1. Она включает в себя микропроцессорный блок (БМП), блок связи с объектом (БСО), высоковольтный (БВВ) и силовой (БС) блоки. Указанные блоки конструктивно выполнены в виде отдельных плат и расположены в кассете, предназначенной для размещения в шкафу для электрооборудования.

Блок микропроцессорный состоит из центрального процессора ЦП (микросхема К1821ВМ85), дешифраторов адреса ДА1 и ДА2 (К155ИД4), постоянного запоминающего устройства ПЗУ объемом 6 Кбайт (К573РФ5), оперативного запоминающего устройства ОЗУ объемом 2 Кбайт (К537РУ10), узла диагностики УД (К155АГ3), параллельного периферийного адаптера ЦПА (К580ВВ55) на 48 линий, программируемого контроллера прерываний ПКП (К580ВП59), программируемых таймеров ПТ (К580ВИ53), последовательного связного адаптера ПСА (К580ВВ51), микропереключателей (МП), пульта управления ПУ.

Управление контроллером ЭП по командам оператора (БМП) осуществляется от ПУ, сигналы от которого подаются на входы ППА. С помощью ПУ задаются также и возможные режимы работы контроллера: автоматический — с управлением ЭП от ЭВМ верхнего уровня по каналу ИРПС и наладочный, когда управление ЭП осуществляется по командам оператора от ПУ. Обмен информацией между БМП и ЭВМ осуществляется в последовательном формате по принципу "запрос-ответ", при этом активной является ЭВМ. Обработка каждого байта информации в БМП инициируется запросом на прерывание RST7.5, подаваемым на одноименный вход ЦП, тактовая частота для последовательного канала связи вырабатывается в ПТ.

Информация о перемещении и скорости формируется с помощью сигналов, поступающих от кодового датчика КД, установленного на механизме, и от импульсного датчика ИД, установленного на валу двигателя. Применение КД предусматривается для случаев, когда позиционирование механизмов происходит в фиксированных точках. Цифровая оценка пройденного пути и скорости АД формируется в ПТ. С помощью сигналов от КД, поступающих в ППА, формируется текущий адрес положения механизмов. Ввод информации от КД инициируется сигналами запросов на прерывание RST6.5 и RST5.5, подаваемых в ЦП.

Программа управления скоростью и положением АД также выполняется по прерыванию, причем запросы на прерывание с частотой 300 Гц, синхронизированные с сетью, поступают на вход ПКП. В результате выполнения алгоритмов регуляторов скорости и положения формируются коды угла открытия тиристоров α^* (на выходах ПТ) группы тиристоров F_{rp} (на выходах ППА).

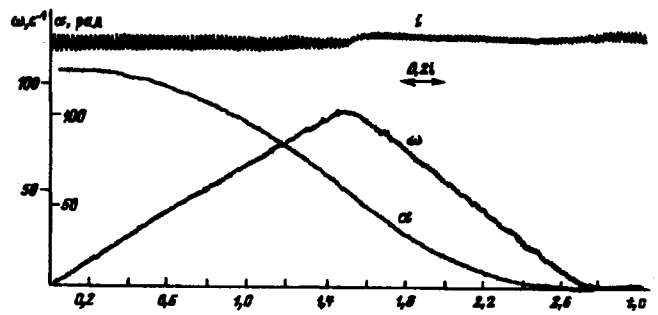


Рис. 2

В ЦП предусмотрено формирование сигнала блокировки ЭП в случае сбоя ЦП. При этом в УД формируется запрос на прерывание TRAP, поступающий в ЦП (немаскируемый запрос), и вырабатывается сигнал, запрещающий работу ТПН и АД. Программный сбой выявляется благодаря контролю последовательности импульсов, формируемых в алгоритме управления скоростью с частотой 300 Гц. По запросу TRAP осуществляются перезапуск рабочей программы и повторная инициализация внешних устройств.

Блок связи с объектом включает в себя устройство защит и блокировок (УЗБ), устройство для формирования запросов на прерывание (УФЗ), распределитель импульсов (РИ), устройство управления тормозом (УУТ), устройства связи с КД (УСКД) и ИД (УСИД). В РИ по сигналам α^* и F_{rp} происходят формирование импульсов управления тиристорами ТПН и распределение их по соответствующим каналам. УУТ формирует импульсы управления для тиристоров управляемого выпрямителя (УВ), от которого питаются обмотки электромагнита тормоза. УФЗ формирует запросы на прерывание для ПКП, УЗБ по сигналам от датчиков состояния ЭП ДСЭ блокирует работу РИ и вырабатывает код вида аварии для БМП. Предусмотрена блокировка при срабатывании максимально токовой защиты, при перегреве АД или ТПН, а также при выходе из строя блока питания (БП) и исчезновении одной из фаз напряжения сети. Устройство связи с КД и ИД обеспечивает согласование уровней питания и гальваническую развязку цепей датчиков и БМП.

В состав БВВ входят блок питания, устройство синхронизации с сетью (УСС) и усилители мощности (УМ). УСС вырабатывает напряжение синхронизации с сетью для БМП и БСО, УМ осуществляет усиление мощности импульсов управления тиристорами, поступающими от РИ и УУТ. Импульсы от УМ в свою очередь передаются на соответствующие тиристоры ТПН и УВ, входящие в состав БС.

Отметим, что в программе управления скоростью и положением АД предусмотрен контроль за информацией, поступающей от ИД, на основе анализа изменения положения и скорости за фиксированный интервал времени, что позволяет реализовать аварийное отключение ЭП при выходе из строя указанных датчиков. Использование ал-

горитмов управления скоростью [2] и положением [1] позволяет избежать режима доводочной скорости при позиционировании механизмов для любых видов перемещений и реализовать движение на заданную позицию по тахограммам оптимального вида (треугольным или трапецеидальным). Для иллюстрации указанного положения на рис.2 приведены осциллограммы, полученные в ходе экспериментальных исследований рассматриваемого электропривода.

Предлагаемый контроллер прошел успешные испытания в лабораторных и заводских условиях, что позволяет сделать вывод о целесообразности

его применения для управления исполнительными асинхронными ЭП для механизмов с позиционированием.

Список литературы

1. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. М.: Энергоатомиздат, 1988.

2. Браславский И.Я., Зюев А.М., Шилин С.И. Синтез цифровых регуляторов для систем управления скоростью асинхронных тиристорных электроприводов//Электротехника. 1991. № 10. С. 17—19.

КОМПЛЕКТНЫЕ МЕХАТРОННЫЕ УЗЛЫ ДЛЯ МЕТАЛЛО- И ДЕРЕВООБРАБОТКИ

Ю.В.БОГОЛЮБОВ

Производственно-инжиниринговая фирма "ПИМЕК" (Научно-производственная группа "Мехатроника"), г.Москва

В рамках Государственной научно-технической программы "Создание прецизионных мехатронных узлов" фирма "ПИМЕК" разработала и организовала производство комплектных мехатронных узлов для металлообрабатывающего оборудования.

Комплектные мехатронные узлы состоят из исполнительного узла движения (двигатель, шпиндель, редуктор, ШВП и др.), систем смазки и охлаждения и блока управления движением. При этом потребителям предлагается полный комплекс услуг, связанных с разработкой (при необходимости), производством и обеспечением всеми видами комплектных мехатронных узлов, а также модернизацией всех видов промышленного оборудования, направленного на повышение его надежности, автоматизации, снижение издержек на его ремонт и замену импортных комплектующих и узлов.

Использование комплектных мехатронных узлов позволяет:

устранить быстроизнашиваемые элементы (например, ременные передачи);

повысить производительность работы машин за счет увеличения силовых и скоростных параметров мехатронных узлов и приводов;

увеличить ресурс работы благодаря повышению точности применяемых узлов;

снизить время на ремонт и техническое обслуживание за счет использования систем диагностики и защиты и современных систем смазки.

Фирма "ПИМЕК" предлагает потребителям:

МЕХАТРОННЫЕ ШПИНДЕЛЬНЫЕ УЗЛЫ

Узлы предназначены для комплектации металлообрабатывающих, деревообрабатывающих и других видов станков различного назначения. Они состоят из шпиндельного узла (электрошпинделя), преобразователя частоты, систем смазки и охлаждения. Большая мощность, плавное регулирование скорости в широком диапазоне позволя-

ют использовать узлы на различных технологических операциях (фрезерование, сверление, шлифование отрезка и т.п.).

Узлы оснащены системой диагностики компонентов, позволяющей предотвращать выход их из строя в аварийных ситуациях и быстро находить и устранять неисправности.

Основные технические параметры узлов

Мощность на валу шпинделя, кВт0,3—12(30)

Максимальная частота вращения шпинделя, об/мин.....3000—96000

МЕХАТРОННЫЕ УЗЛЫ ДВИЖЕНИЯ

Узлы предназначены для комплектации станков и машин различного назначения. В их состав входят приводной электродвигатель (в том числе и индивидуального изготовления), системы управления двигателем и его защиты, редукторы и шарико-винтовые пары.

Разнообразие применяемых компонентов и комплектующих позволяет получать узлы движений от простейших нерегулируемых приводов до приводов подачи в станках с числовым программным управлением.

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

Фирма "ПИМЕК" является официальным дилером Государственного предприятия "ЭТАЛ" (Украина) по продаже и ремонту электротехнической продукции промышленного назначения.

Потребителям предлагается широкий спектр продукции одного из ведущих электротехнических предприятий СНГ, в числе которого электроприводы постоянного и переменного тока (от 0,25 до 35 Н·м); контактная низковольтная аппаратура; системы автоматизации и диагностики.

ТОО "ПИМЕК" Тел. 702-32-69

СПЕЦИАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ПУСКОВЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.А.АНИСИМОВ, А.О.ГОРНОВ, В.В.МОСКАЛЕНКО, Ю.В.РОЖАНКОВСКИЙ

МЭИ

Известно, что один из основных недостатков короткозамкнутых асинхронных двигателей (АД) — неблагоприятный характер пусковых режимов, в которых при многократном увеличении тока по отношению к номинальному момент двигателя относительно невелик. Ограничить пусковые токи возможно использованием силовых тиристорных регуляторов напряжения, которые, по нашим сведениям, выпускают более 50-ти зарубежных фирм. Подобные серийные устройства имеются и в России, однако широкого массового применения они пока не получили.

Основным функциональным недостатком указанных устройств (их называют *softstarter*, *easy-starter* — тиристорными пускателями) является то, что при снижении тока статора одновременно уменьшается развиваемый двигателем момент, поэтому типовые пускатели удается эффективно применять для механизмов, которые пускаются вхолостую либо с пониженным моментом сопротивления на малых скоростях или имеют небольшой момент инерции.

Наш опыт разработки и промышленного внедрения пусковых устройств показывает, что во многих случаях проблемы, возникающие при пусках механизмов с короткозамкнутыми двигателями, выходят за пределы возможностей обычных тиристорных пускателей. Во-первых, существуют механизмы, отличающиеся повышенным моментом трогания (транспортёры, шаровые мельницы, машины вибрационного типа, прессы по изготовлению кирпича и т.п.), которые требуют увеличения момента двигателя на начальном этапе пуска. Применение в этих случаях двигателей со специальным ротором приводит к повышению потерь в установившемся режиме, усложнению технологии изготовления машины, ее стоимости. Другой, тоже "затратный" выход — увеличение мощности двигателя.

Иногда питание электродвигателей осуществляется по длинным питающим линиям или от автономных источников ограниченной мощности. В

этом случае пуск затруднен из-за значительного снижения напряжения на зажимах статора. Если механизм обладает относительно большим моментом инерции (например, центробежный вентилятор большой мощности), то даже при пуске вхолостую (при закрытой задвижке на выходном патрубке вентилятора) пусковые потери в двигателе оказываются настолько существенными, что повторные пуски возможны лишь после значительной паузы, необходимой для охлаждения обмоток двигателя. Некоторые механизмы требуют кратковременных режимов работы на пониженных скоростях для выполнения вспомогательных операций (позиционирование барабана шаровой мельницы перед ее загрузкой и разгрузкой, предварительное перемешивание загустевшей массы в мешалках), другие — кратковременного форсирования момента (например, при заклинивании циркулярных пил, продавливания загустевшей массы в прессах производства кирпича), третьи — ступенчатого (шагового) вращения (например, при замене ремней текстурных передач).

Перечень этих специфических требований можно продолжить, однако ясно, что обеспечить такие режимы серийными пусковыми устройствами невозможно. Очевидно, что все эти проблемы могут быть решены применением преобразователей частоты, однако их использование для кратковременных динамических режимов работы не оправдывает себя с экономической точки зрения.

На протяжении ряда лет на кафедре автоматизированного электропривода Московского энергетического института ведутся разработки пусковых устройств с расширенными функциональными возможностями [1,2] на основе тиристорно-контакторных гибридных схем в силовой части (рис. 1).

Если такое гибридное устройство имеет развитую систему управления, например, микропроцессорную, то оно позволяет совместить в себе достоинства обычного пускателя и тиристорного преобразователя переменного напряжения. В таком устройстве тиристоры обеспечивают бездуговую коммутацию цепи статора двигателя и формируют его переходные режимы, а в установившихся режимах они шунтируются, и ток протекает через замкнутые механические контакты. В этом случае может быть существенно уменьшена масса тиристорных охладителей, у контакторов отсутствует дугогасящее устройство, из-за чего габариты гибридного устройства оказываются сопоставимыми с габаритами обычного контактного пускателя.

Использование современной техники управления позволяет существенно расширить функцио-

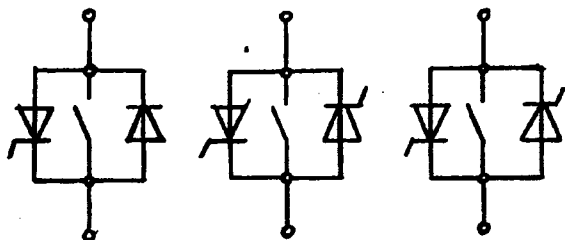


Рис. 1. Силовая схема гибридного аппарата

нальные возможности известных тиристорных пускателей, выделившихся в класс так называемых "softstarter".

Усложнение алгоритмов управления тиристорно-контакторным гибридом позволяет реализовать на основе тех же силовых схем обычных пускателей пускатели, ограничивающие пусковые токи и не снижающие момент при пуске, а напротив, форсирующие его. При этом удается существенно расширить круг задач, решаемых стартерами, иметь модификации как для мягкого, легкого пуска (soft), так и жесткого, тяжелого пуска (hard), требующего формирования момента, снижения пускового тока.

Рассмотрим возможности различных способов управления ТПН для получения режимов форсированного пуска асинхронных двигателей.

В настоящее время известны следующие способы управления тиристорными преобразователями напряжения: фазовый, квазичастотный, импульсный, векторно-импульсный. Фазовое управление обеспечивает регулирование напряжения на зажимах статора путем симметричного изменения угла управления тиристоров. Именно этот способ используется в серийных тиристорных пускателях. Квазичастотное управление осуществляется путем модулирования режима преобразователя внешними низкочастотными релейными или аналоговыми сигналами управления. Это позволяет получить пониженные скорости вращения АД в разомкнутой системе управления (без обратной связи по скорости). При импульсном управлении в модулирующем сигнале отсутствует фиксированное значение частоты. Такой способ не имеет существенного преимущества перед фазовым управлением, поэтому широкого распространения для управления асинхронными двигателями он не получил. Векторно-импульсное управление [4] предполагает, что импульсное управление осуществляется с учетом состояния внутренних переменных асинхронного двигателя.

Как известно, для формирования режимов электропривода первостепенное значение имеет электромагнитный момент двигателя, который определяется векторным произведением магнитного потока и тока

$$M = k|\vec{\psi}||\vec{I}|\sin \varphi,$$

где φ — угол между векторами мгновенных значений потока $\vec{\psi}$ и тока \vec{I} .

На рис. 2 показаны типичные зависимости тока I_1 статора, потока ψ_0 в воздушном зазоре, угла φ и момента M асинхронного двигателя в функции скольжения для установившихся режимов работы. Из рис. 2 видно, что при номинальном напряжении статора по мере увеличения скольжения поток ψ_0 и угол φ уменьшаются по сравнению с соответствующими номинальными значениями. Поэтому момент двигателя мал на низких скоростях, несмотря на многократно возросший ток.

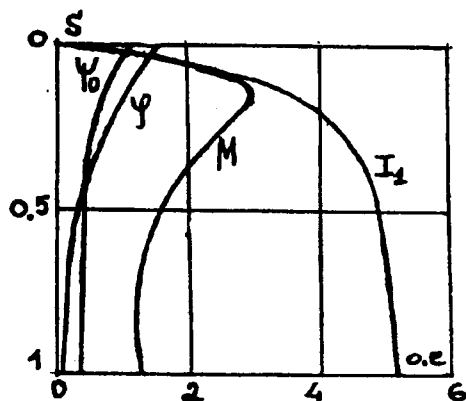


Рис. 2. Зависимости от скольжения переменных асинхронного двигателя, определяющих его электромагнитный момент при номинальном напряжении статора

В [4] приведены данные, которые показывают, что при векторно-импульсном управлении можно увеличить момент асинхронного двигателя на пониженных скоростях. Для более полного выявления возможностей векторно-импульсного управления при формировании пусковых режимов АД были проведены дополнительные исследования. Для этой цели была разработана цифровая модель асинхронного электропривода, адекватно представляющая импульсный режим работы преобразователя и динамические свойства АД с учетом насыщения магнитопровода и зависимости параметров схемы замещения от скольжения. Векторно-импульсное управление осуществлялось в функции угла между потокосцеплением ротора и током статора таким образом, чтобы обеспечить максимально возможное потокосцепление и предотвратить появление знакопеременного электромагнитного момента двигателя.

На рис. 3 показаны результаты компьютерного анализа в виде получаемых при этом управлении механических $M(s)$ и электромагнитных $I(s)$ характеристик. Кривые 2, 3 являются предельными характеристиками, полученными при нулевом угле управления тиристорами. Для сравнения на этом же рисунке показаны соответствующие естественные характеристики 1.

Наши исследования показали, что в замкнутых системах векторно-импульсного регулирования за счет изменения угла управления тиристорами можно реализовать механические характеристики с различной жесткостью: от мягких (с постоянством момента) до жестких (с постоянством скорости). Соответствующие характеристики показаны на рис. 4.

Эффективность векторно-импульсного управления можно оценить по отношению электромагнитного момента двигателя к току статора:

$$K_{MI} = M_* / I_{1*},$$

где $M_* = M / M_{ном}$, $I_{1*} = I_1 / I_{ном}$ — относительные значения среднего момента двигателя и действующего тока статора.

Очевидно, что в номинальном режиме $K = 1$.

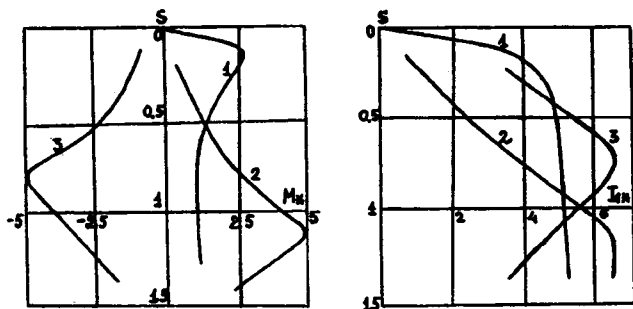


Рис. 3. Механические (а) и электромеханические (б) характеристики:

1 — естественные; 2, 3 — при векторно-импульсном управлении с формированием положительного (2) и отрицательного (3) значений электромагнитного момента

На рис. 5 показано, какие значения имеет коэффициент K при разных скольжениях на соответствующих характеристиках рис. 3. Из рис. 5 видно, что векторно-импульсное управление дает наибольший эффект в области малых скоростей, где АД не только способен создавать значительный момент, но и по эффективности работать в режиме, близком к номинальному. За счет изменения угла управления тиристоров при векторно-импульсном управлении получают характеристики, расположенные внутри области, ограниченной предельными зависимостями (рис. 3). На рис. 4, а приведены примеры механических характеристик при регулировании момента и скорости. На рис. 4, б показано, как изменяется в этих случаях ток статора. Пунктирными линиями на этом же рисунке изображено, как изменялся бы ток статора, если бы регулирование производилось фазовым способом.

Для получения максимально возможного значения K_{MI} в широком диапазоне изменения скорости необходимо использовать достаточно сложный алгоритм управления, так как приходится учитывать не только взаимное положение векторов тока и потокосцепления, но и частоту и амплитуду ЭДС двигателя. Несмотря на относительную сложность, этот алгоритм технически реализуем при микропроцессорном управлении и условии, что используется информация от датчиков электрических переменных двигателя и преобразователя (напряжения, тока). Если требуется решить частную задачу (например, увеличить только пусковой момент двигателя), то алгоритм управления упрощается и может быть реализован программным способом без извлечения информации о состоянии переменных электропривода.

Если сравнить возможности фазового и векторно-импульсного способов управления для формирования пусковых режимов асинхронных двигателей, то можно сделать вывод, что при скоростях выше половины синхронной, преимущества имеет первый способ, а при низких скоростях — второй. При скоростях ниже половины синхронной векторно-импульсное управление позволяет получить не только повышенные значения момента, но и уменьшить действующий ток, потребляемый из сети.

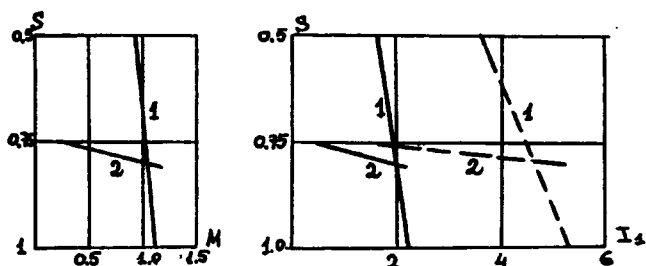


Рис. 4. Механические (а) и электромеханические (б) характеристики в замкнутых системах регулирования:

1 — при стабилизации момента; 2 — при стабилизации скорости

Основной недостаток векторно-импульсного управления — периодическое появление с частотой 50—25 Гц временных интервалов, когда все три фазы двигателя отключены от сети. Пульсации тока и момента могут оказать неблагоприятное воздействие на электрическую сеть и механическую часть электропривода. При оценке влияния пульсаций на работу электрической сети следует сопоставить непрерывный пусковой ток и пульсирующий с действующим значением, в 2—3 раза меньшим непрерывного тока (при одинаковом среднем значении момента двигателя). Для оценки влияния пульсаций на механическую часть электропривода необходимо иметь в виду, что векторно-импульсное управление в первую очередь целесообразно применять в тяжелых пусковых режимах. В таких случаях при прямых пусках от сети двигатель относительно длительное время находится в области малых скоростей, где его электромагнитный момент содержит медленно затухающую знакопеременную переходную составляющую момента, сопоставимую по амплитуде и частоте с пульсациями при векторно-импульсном управлении.

Очевидно, что проблемы, возникающие при пусках, возрастают с увеличением мощности двигателей. В то же время результаты наших исследований выявили следующую закономерность: чем меньше сопротивление ротора и чем больше момент инерции электропривода, тем в целом эф-

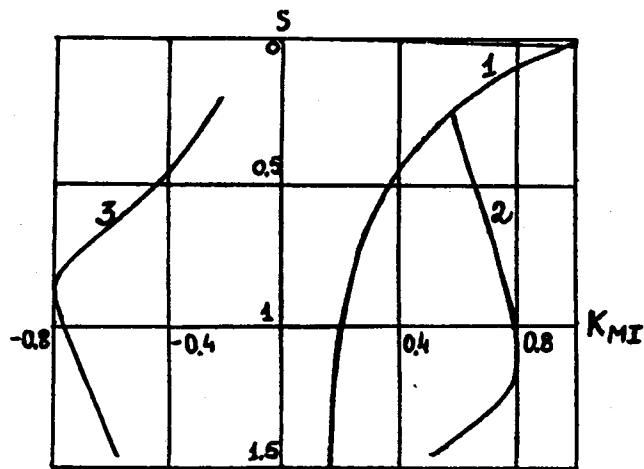


Рис. 5. Значения коэффициента K_{MI} для характеристик на рис. 3

фективнее режим векторно-импульсного управления. Эти параметры изменяются в указанном направлении по мере увеличения мощности двигателей. Практически это означает, что чем более серьезной является проблема пуска, тем легче она решается с помощью векторно-импульсного управления.

Наш опыт практической работы на механизмах с АД мощностью до 250 кВт и результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что векторно-импульсное управление расширяет функциональные возможности тиристорных пускателей и, в частности, позволяет решить следующие задачи:

увеличить в 2—3 раза пусковой момент асинхронного двигателя;

значительно ограничить пусковые токи (в том числе при повышенном пусковом моменте двигателя);

увеличить допустимое число последовательных пусков путем снижения пусковых потерь в обмотках двигателя;

реализовать тормозные режимы, в том числе и аварийные с экстренным снижением скорости;

обеспечить кратковременную работу на пониженных скоростях в любом направлении вращения и при любом знаке момента на валу двигателя

(эта возможность реализуется также при квазичастотном управлении);

пускать однофазные и трехфазные АД от однофазной сети.

Примеры применения гибридных тиристорных пускателей, в которых использовались некоторые из перечисленных возможностей, приведены в [2].

Рассмотренные в статье структуры и принципы управления гибридных пусковых устройств раскрывают новые возможности улучшения качества различных технологических процессов и расширения функциональных возможностей асинхронного электропривода.

Список литературы

1. Анисимов В.А., Горнов А.О., Румяновский Ю.В. Особенности тиристорных преобразователей напряжения для электроприводов механизмов массового применения // Промышленная энергетика. 1990. № 10. С. 19—23.

2. Опыт разработки и применения тиристорных преобразователей напряжения для управления асинхронными электроприводами / В.А.Анисимов, А.О.Горнов, М.Ю.Катаев и др. // Электротехника. 1993. № 6. С. 37—71.

3. Могилевский Г.В. Низковольтные гибридные электрические аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1986.

4. Петров Л.П. Управление пуском и торможением асинхронных двигателей. М.: Энергоиздат, 1981.

УДК 62-83:681.325.2

АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

С.Е.РЫВКИН, Д.Б.ИЗОСИМОВ

АО Европривод-Мицар, г.Москва

Получение информации о состоянии управляемого процесса — одна из центральных задач при создании автоматизированного электропривода.

Традиционно используемый подход, основанный на прямом измерении необходимых координат, приводит к значительному усложнению конструкции электропривода, ухудшению его эксплуатационных и стоимостных показателей. Возможный путь преодоления этих недостатков — исключение из конструкции электропривода датчиков тех координат, прямое измерение которых является нежелательным, и использование при синтезе управления их оценок, полученных с применением идентификатора состояния (наблюдателя) [1]. В настоящее время широко распространены линейные наблюдатели механических координат, основанные на использовании динамической модели механической части электропривода. В таких наблюдателях входной информацией является сигнал с датчика механических координат, обычно датчика положения или частоты вращения ротора.

Следующий этап — полный отказ от датчиков механических координат и построение регулируемо-

го электропривода, содержащего только датчики электрических величин. Такой подход требует разработки новых методов идентификации механических координат привода. Перспективным является использование при идентификации скользящих режимов [2,3]. Кроме того, что информационная система будет иметь такие полезные свойства, как близкое к предельно возможному быстродействие, инвариантность к параметрам, квазиоптимальность и проявление адаптивных свойств при наличии случайных возмущений и т.д., применение скользящих режимов позволит провести эффективную декомпозицию задачи идентификации, упростить устройство обработки информации, что весьма существенно, с учетом часто имеющей место нелинейности и сложности (высокого порядка уравнений) электропривода как объекта идентификации и управления.

Ниже рассматриваются алгоритмы идентификации механических переменных для двигателя постоянного тока и неявнополюсного синхронного двигателя.

1. Синтез алгоритма идентификации частоты вращения электродвигателя постоянного тока. В

качестве примера объекта идентификации, иллюстрирующего основные особенности подхода к синтезу алгоритмов идентификации на скользящих режимах, рассмотрим двигатель постоянного тока [4]. Исходной информацией являются измеряемые электрические параметры (ток и напряжение) цепи якоря.

Электромагнитные процессы в электродвигателе постоянного тока независимого возбуждения описываются управлением:

$$di_a/dt = -(R_a/L_a)i_a - (k_e/L_a)\omega + u_a/L_a, \quad (1)$$

где i_a — ток якоря двигателя; u_a — напряжение цепи якоря; R_a — активное сопротивление цепи якоря; L_a — индуктивность якорной цепи; k_e — конструктивный коэффициент; ω — частота вращения.

Для получения оценки частоты вращения ротора $\hat{\omega}$ [индекс (^) имеют модельные переменные] синтезируем модель якоря двигателя, структура которой совпадает с (1) и в которой частота вращения ротора рассматривается как некоторая переменная ω^*

$$d\hat{i}_a/dt = -(R_a/L_a)\hat{i}_a - (k_e/L_a)\omega^* + u_a/L_a. \quad (2)$$

Для того, чтобы поведения модельной (2) и реальной (1) электромагнитных систем совпадали, необходимо обеспечить совпадение модельного \hat{i}_a и реального i_a токов якорной цепи. Для обеспечения равенства токов организуем скользящее движение по поверхности скольжения

$$S_a = i_a - \hat{i}_a = 0. \quad (3)$$

В качестве необходимого для организации скользящего движения разрывного воздействия воспользуемся переменной ω^* . Воздействие ω^* принимает то или иное значение из двух возможных значений $+\omega 0$, $-\omega 0$. Если

$$\omega 0 \geq |R_a(i_a - \hat{i}_a)/k_e + \omega| \quad (4)$$

и

$$\omega^* = \omega 0 \operatorname{sign}(i_a - \hat{i}_a), \quad (5)$$

то выполняются условия существования скользящего режима [2]. Эквивалентное значение корректирующего воздействия ω_{eq}^* равно значению частоты вращения ω и может быть использовано в качестве оценки $\hat{\omega}$ частоты вращения.

Для выделения эквивалентного значения разрывного параметра ω^* можно воспользоваться фильтром низких частот с достаточно малой постоянной времени, применить специальные методы синтеза скольжения, позволяющие непосредственно синтезировать эквивалентное значение разрывной величины в скользящем режиме, или использовать модель — идентификатор состояния для процесса механического движения.

Таким образом, для вычисления частоты вращения ротора достаточно использовать модель электромагнитной цепи якоря.

Разумеется, двигатель постоянного тока является наблюдаемым по измерениям тока якоря и можно было бы воспользоваться традиционным линейным асимптотическим идентификатором [5]. Однако непосредственное использование традиционной методики потребовало бы применения модели механического движения ротора совместно с моделью (или измерениями) нагрузки двигателя. Использование идентификатора со скользящим режимом (2), (4), (5) позволяет упростить модель объекта благодаря декомпозиции задачи идентификации.

2. Синтез алгоритма идентификации частоты вращения и углового положения ротора неявнополюсной синхронной машины. Вопросы синтеза алгоритма идентификации рассматриваются отдельно во вращающейся (d, q) и в неподвижной (α, β) системах координат. Как в первом, так и во втором случаях в качестве известных (исходных) величин будут выступать компоненты обобщенных векторов тока i и напряжения u статорной обмотки и параметры электрических цепей, а в качестве оцениваемых координат — угловое положение ротора θ и частота его вращения ω .

2.1. Синтез наблюдателя во вращающейся системе координат. Поведение синхронной машины описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} di_d/dt &= -R_i/L + \omega i_q + u_d/L; \\ di_q/dt &= -R_i/L - \omega(\Psi/L + i_d) + u_q/L; \\ d\theta/dt &= \omega, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где R и L — сопротивление и индуктивность статорной обмотки; Ψ — потокосцепление ротора.

Токи и напряжения во вращающейся системе координат связаны с токами и напряжениями в неподвижной системе координат преобразованием поворота на угол, равный текущему значению угла поворота ротора θ . Так как значение θ заранее не известно и подлежит определению, воспользуемся его оценкой $\hat{\theta}$, так что

$$\left. \begin{aligned} u_d^* &= u_\alpha \cos \hat{\theta} + u_\beta \sin \hat{\theta}; \\ u_q^* &= -u_\alpha \sin \hat{\theta} + u_\beta \cos \hat{\theta}; \\ i_d^* &= i_\alpha \cos \hat{\theta} + i_\beta \sin \hat{\theta}; \\ i_q^* &= -i_\alpha \sin \hat{\theta} + i_\beta \cos \hat{\theta}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

В предположении малости ошибки в определении углового положения ротора $\Delta\theta = \theta - \hat{\theta}$, уравнения (6) переписываются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} di_d^*/dt &= -R_i^*/L + u_d^*/L + i_q^*(d\hat{\theta}/dt) + (\Psi\omega\Delta\theta)/L; \\ di_q^*/dt &= -R_i^*/L - \omega\Psi/L + u_q^*/L + i_d^*(d\hat{\theta}/dt). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Как и для двигателя постоянного тока, воспользуемся моделью, структура которой адекватна

структуре электромагнитной части синхронной машины, и потребуем, чтобы движения в реальной и модельной электромагнитных системах совпадали. Однако решить задачу совпадения двух модельных \hat{i}_d, \hat{i}_q и реальных i_d^*, i_q^* компонент тока статора с помощью одного скалярного параметра ω^* невозможно, поэтому на вход модели подадим дополнительное корректирующее воздействие μ . Это корректирующее воздействие имеет смысл тестового сигнала, по отличию которого от нулевого значения можно судить о несоответствии процессов (или начальных условий) в модели и двигателе. Уравнения модели имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} d\hat{i}_d/dt &= -R\hat{i}_d/L + u_d^*/L + i_q^*(d\hat{\theta}/dt) + \mu; \\ d\hat{i}_q/dt &= -R\hat{i}_q/L - \omega^* \Psi/L + u_q^*/L + i_d^*(d\hat{\theta}/dt). \end{aligned} \right\} (9)$$

Один из возможных путей обеспечения равенства модельных и реальных (измеренных) компонент тока статора — организация скользящего движения по пересечению поверхностей скольжения, представляющих собой нулевые рассогласования по компонентам статорного тока:

$$S_d = i_d^* - \hat{i}_d = 0; \quad S_q = i_q^* - \hat{i}_q = 0. \quad (10)$$

Если

$$\mu = \mu_0 \operatorname{sgn} S_d, \quad \hat{\omega} = -\omega_0 \operatorname{sgn} S_q \quad (11)$$

и

$$\mu_0 \geq \left| -R(i_d^* - \hat{i}_d) + \omega \Psi \Delta\theta/L \right|, \quad \omega_0 \geq \left| R(i_q^* - \hat{i}_q)/\Psi + \omega \right|, \quad (12)$$

то в скользящем режиме рассогласования S_d и S_q равны нулю, а параметры ω^* и μ изменяются с высокой частотой, так что имеют смысл их эквивалентные значения ω_{eq} и μ_{eq} . Эти значения, в силу уравнений (9), равны

$$\hat{\omega} = \omega_{eq}^* = \omega; \quad (13)$$

$$\mu_{eq} = \omega \Psi \Delta\theta/L. \quad (14)$$

Полученная модель синхронной машины (9) будет соответствовать реальному объекту (6) в том случае, если $\Delta\theta = 0$ (как следует из (14), корректирующий сигнал μ равен нулю при $\Delta\theta = 0$). Для формирования оценки углового положения $\hat{\theta}$ модель электромагнитной части синхронной машины необходимо дополнить моделью механической части. Для идентификации начальных условий по угловому положению введем в модель механической части корректирующий сигнал ν

$$d\hat{\theta}/dt = \omega^* + \nu. \quad (15)$$

Отметим, что для формирования оценки углового положения согласно (15) не требуется применять специальных методов для выделения эквивалентного значения ω_{eq}^* , так как эту операцию выполняет сама модель механической части (15).

Для синтеза корректирующего сигнала ν воспользуемся имеющимся в наличии сигналом μ_{eq} (14), линейно зависящим от ошибки в определении углового положения ротора:

$$\nu = k \mu_{eq} \quad (16)$$

В скользящем режиме ошибка в определении углового положения ротора будет стремиться к нулю, например, если

$$k = k_0 \operatorname{sgn} \hat{\omega}, \quad k_0 = \operatorname{const}, \quad k_0 > 0. \quad (17)$$

На нулевой частоте вращения идентификатор механических переменных имеет особенность. Не проводя здесь подробного анализа сходимости оценок при малых значениях частоты вращения, отметим, что при неподвижном роторе неявнополюсного синхронного двигателя определить его угловое положение и частоту его вращения по измерениям токов и напряжений в обмотке статора невозможно. Отсюда, в частности, следует ограничение снизу на диапазон частот вращения, при которых система идентификации синхронного двигателя работоспособна. Численные значения допустимого диапазона частоты вращения целесообразно устанавливать экспериментально, так как они определяются многими факторами, такими как неадекватность реального двигателя и его математической модели, ошибки в определении параметров электромагнитной цепи, и т.д. Впрочем, из-за высокочастотной коммутации силовых ключей в современных силовых преобразователях, питающих двигатель в системе электропривода, тождественное равенство нулю частоты вращения ротора исключается. Поэтому можно ожидать устойчивости системы получения необходимых оценок, по-видимому, во всех режимах работы привода.

2.2. Синтез наблюдателя в неподвижной системе координат.

Электромагнитные процессы в синхронной машине в неподвижной системе координат описываются системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} di_\alpha/dt &= -Ri_\alpha/L + \omega \Psi \sin \theta/L + u_\alpha/L; \\ di_\beta/dt &= -Ri_\beta/L - \omega \Psi \cos \theta/L + u_\beta/L. \end{aligned} \right\} (18)$$

Значения углового положения ротора θ и частоты его вращения ω в (18), как и в предыдущем случае, неизвестны. Их можно определить при помощи динамической модели:

$$\left. \begin{aligned} d\hat{i}_\alpha/dt &= -R\hat{i}_\alpha/L + u_\alpha/L + u_1; \\ d\hat{i}_\beta/dt &= -R\hat{i}_\beta/L + u_\beta/L + u_2, \end{aligned} \right\} (19)$$

где u_1, u_2 — корректирующие воздействия модели.

При помощи воздействий u_1, u_2 можно обеспечить равенство модельных и реальных компонент тока статора путем организации скользящего движения по пересечению поверхностей скольжения

$$S_\alpha = i_\alpha - \hat{i}_\alpha = 0; \quad S_\beta = i_\beta - \hat{i}_\beta = 0. \quad (20)$$

Воздействия u_1, u_2 носят разрывной характер:

$$u_1 = u_1^0 \operatorname{sgn} S_\alpha; \quad u_2 = u_2^0 \operatorname{sgn} S_\beta. \quad (21)$$

В скользящем режиме эквивалентные значения воздействий равны:

$$u_{1eq} = -\omega\Psi \sin \theta; \quad u_{2eq} = \omega\Psi \cos \theta. \quad (22)$$

Используя эти значения, можно определить искомые оценки механические переменные:

$$\hat{\theta} = -\operatorname{arctg}(u_{1eq}/u_{2eq}); \quad (23)$$

$$\hat{\omega} = \left(\sqrt{u_{1eq}^2 + u_{2eq}^2} \right) / \Psi. \quad (24)$$

Обратим внимание на тот факт, что при синтезе идентификатора в неподвижной системе координат нет необходимости в организации векторного преобразования координат, однако процедура получения оценок механических переменных требует выделения эквивалентных значений корректирующих воздействий u_1 , u_2 и дальнейшей их обработки согласно выражениям (23), (24).

С позиции обеспечения высоких динамических свойств системы идентификации, по-видимому, целесообразно воспользоваться подходом, продемонстрированным при синтезе наблюдателя во вращающейся системе координат. Динамическая модель электромагнитных процессов в этом случае, как и ранее, использует корректирующие воздействия ω^* и μ

$$\left. \begin{aligned} \hat{d}i_\alpha/dt &= -R\hat{i}_\alpha/L + \omega^* \Psi \sin \hat{\theta}/L + u_\alpha/L - \mu \cos \hat{\theta}/L; \\ \hat{d}i_\beta/dt &= -R\hat{i}_\beta/L - \omega^* \Psi \cos \hat{\theta}/L + u_\beta/L - \mu \sin \hat{\theta}/L. \end{aligned} \right\} (25)$$

Синтез скользящего движения в системе (25) на поверхностях (10) осуществляется с использованием стандартной процедуры диагонализации матрицы перед разрывными управляющими воздействиями [2].

В предположении малой неточности в определении углового положения ротора $\Delta\theta$ корректирующие воздействия ω^* и μ , u_1 , u_2 связаны следующим матричным уравнением

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \omega^* \\ \mu \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -\sin \theta/\Psi & \cos \theta/\Psi \\ \cos \theta & \sin \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} + \\ &+ \Delta\theta \begin{bmatrix} -\cos \theta/\Psi & -\sin \theta/\Psi \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (26)$$

В скользящем режиме эквивалентные значения корректирующих воздействий ω^* и μ определяются, как не трудно видеть, соотношениями (14), (15). Как и при синтезе во вращающейся системе координат, модель синхронной машины (25) будет соответствовать реальному объекту (18) при $\Delta\theta = 0$. Выполнение последнего требования обеспечивается использованием модели механической части с идентификатором начальных условий (15).

2.3. Синтез упрощенного наблюдателя. Темпы электромагнитных и электромеханических про-

цессов, протекающих в синхронной машине, как правило, существенно отличаются [1]. При расчете значений механических переменных электромагнитные процессы часто можно считать установившимися. При этом допущении поведение синхронной машины описывается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} -Ri_d/L + \omega i_d + u_d/L &= 0; \\ -Ri_q/L - \omega(\Psi/L + i_d) + u_q/L &= 0; \\ d\theta/dt &= \omega. \end{aligned} \right\} (27)$$

Оцениваемые переменные согласно (27) связаны алгебраическими уравнениями:

$$-Ri_d^* + u_d^* + \omega Li_q^* + \Psi\omega\Delta\theta = 0; \quad (28)$$

$$-Ri_q^* - \omega\Psi + u_q^* + \omega Li_d^* = 0. \quad (29)$$

Использование (27) позволяет вычислить значения частоты вращения

$$\omega = (-Ri_q^* + u_q^*) / (\Psi + Li_d^*) \quad (30)$$

и ошибки в определении углового положения ротора

$$\Delta\theta = (Ri_d^* - \omega Li_q^* - u_d^*) / \omega\Psi. \quad (31)$$

Для фильтрации оценок частоты вращения и углового положения, получаемых с помощью (30) и (31), можно использовать модель (наблюдатель) механического движения.

Представляется, что упрощенный наблюдатель целесообразно использовать в цифровых системах обработки информации и управления. В таких системах длительность цикла расчета управления, как правило, оказывается достаточно большой по сравнению с постоянной времени электромагнитных цепей двигателя, и пренебрежение их динамикой оказывается хорошо обоснованным. Мы не будем здесь рассматривать алгоритмы цифрового оценивания, ограничимся обозначением подхода к их разработке.

Выводы

1. Имеется возможность построения идентификаторов механических координат электропривода, использующих информацию об электрических переменных. Полученные оценки механических переменных можно также использовать в сочетании с непосредственными измерениями, что позволит повысить совокупную точность преобразователей информации и, следовательно, точностные показатели приводов.

2. Использование предложенных алгоритмов идентификации механических координат двигателя постоянного тока (частота вращения) и синхронной машины (угловое положение ротора и частота вращения) открывает возможность построе-

ния "бездатчиковых" регулируемых и следящих приводов на базе этих двигателей.

3. Рассмотренные принципы получения оценок частоты вращения и углового положения могут быть применены для других типов синхронных машин (например, явнополюсных) и режимов их включения (вентильный, шаговый привод).

4. Перспективным является разработка самонастраивающихся (адаптивных) систем идентификации, в которых в автоматическом режиме определяются не только переменные состояния, но и параметры электромагнитных цепей, недостаточно точно определяемые, или изменяющиеся с течением времени и изменением режима работы привода (например, вследствие температурного дрейфа), а также коэффициенты передачи датчиков токов и напряжений.

5. При идентификации механических переменных использовались динамические модели процессов в непрерывном времени, что предполагает аналоговую реализацию соответствующих алгоритмов. Для построения цифровой системы обработки информации необходимо воспользоваться

разностными уравнениями этих процессов и процедурами синтеза дискретных скользящих режимов [6].

Список литературы

1. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. М.: Энергия, 1979.
2. Уткин В.И. Скользящие режимы и их применения в системах с переменной структурой. М.: Наука, 1974.
3. Изосимов Д.Б. Многосвязный нелинейный идентификатор состояния асинхронного двигателя на скользящих режимах // Проблемы управления многосвязными системами. М.: Наука, 1983. С. 133—139.
4. А.с. N1429269 СССР. Устройство для определения частоты вращения электродвигателя постоянного тока / Д.Б.Изосимов, С.Е.Рывкин, А.В.Шустов и др. // Открытия. Изобретения. 1988. № 37.
5. Luenberger D.C. Observers for multivariable systems // IEEE Trans. 1966. Vol. AC-11.
6. Изосимов Д.Б., Скорюпад С.В. Цифровая система управления электроприводом робота с использованием скользящих режимов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1989. № 1.

УДК [621.313.3:621.316.544.1].001.8

ОДНОКРИСТАЛЛЬНЫЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Б.Н. ПОПОВ

МАИ

В современных энергоприводных системах широко применяются автоматизированные электроприводы с полупроводниковыми ключевыми усилителями мощности (КУМ) и микропроцессорными средствами управления.

Разработанный однокристалльный микроконтроллер электродвигателей (МКЭД) предназначен для управления системой КУМ—двигатель в составе перспективных цифровых приводов робототехнических комплексов, станков с ЧПУ, периферийных устройств ЭВМ, сложной бытовой техники (рис. 1).

Микроконтроллер изготовлен в виде БИС на основе базового матричного кристалла (БМК) KA1515XM1. Вариант БМК позволяет в довольно сжатые сроки и с меньшими затратами, чем при использовании ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема) или специализированных БИС, спроектировать и изготовить законченное изделие.

Одно из актуальных направлений в области цифровых энергоприводных систем — использование принципа прямого цифрового управления. Он основан на применении преобразователей код

— широтно-импульсный сигнал совместно с ключевыми усилителями мощности [1-3].

В [3—7] описаны результаты исследований по синтезу оптимальных алгоритмов на основе широтно-импульсного управления для двигателя постоянного тока (ДПТ), асинхронного двухфазного двигателя (АДД), синхронного трехфазного двигателя (СТД), бесконтактного двигателя постоянного тока (БДПТ). Для данных типов электродвигателей получены аналитические выражения для

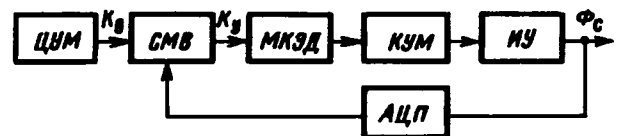


Рис. 1. Схема цифрового электропривода:

ЦУМ — цифровая управляющая машина; СМВ — специализированный микропроцессорный вычислитель; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; МКЭД — микроконтроллер электродвигателей; ИУ — дополнительное устройство; K_u , K_c — двоичные коды, соответствующие входной (Φ_u) и выходной (Φ_c) координатам и коду управления

законов коммутации ключевых элементов КУМ.

Проведенные исследования позволили для каждого двигателя сформировать минимально-необходимую систему логических переменных (МНСЛП) и минимизированную систему управляющих (коммутационных) функций на их основе.

Сравнительный анализ методов управления АДД, БДПТ, STD и ДПТ показал, что для всех четырех типов двигателей можно сформировать обобщенную МНСЛП. Действительно, переменные, обеспечивающие реверсирование и регулирование скоростью (током), являются общими для всех двигателей (инвариантны к типу двигателя). Анализ соотношения аппаратных затрат между инвариантными блоками и специфической частью для каждого типа двигателя дает приблизительно следующую количественную оценку (в процентах) — 90:10. Этот факт подтверждает экономическую целесообразность разработки универсального устройства управления (УУ) на несколько типов двигателей. Такой подход позволяет иметь общую часть УУ для ряда типов двигателей, специфическую часть для каждого конкретного двигателя и дополнительный простой блок настройки на тип двигателя.

С учетом изложенного сделан вывод о рациональности разработки универсального однокристалльного микроконтроллера для управления электродвигателями на основе БМК KA1515XM1. Использование подобного прибора в составе разнообразных энергоприводных систем позволит уменьшить общие массогабаритные показатели, потребляемую мощность, существенно повысить надежность и реализовать все достоинства принципа прямого цифрового управления.

Основное достоинство однокристалльного микроконтроллера электродвигателей — его универсальность, определяемая возможностью управления скоростью и направлением вращения различных типов электромеханизмов и электродвигателей постоянного тока, бесконтактных постоянного тока, асинхронных двухфазных и синхронных трехфазных (рис. 2).

Микроконтроллер электродвигателей обеспечивает:

- настройку на нужный тип двигателя;
- программирование числа разрядов преобразователя код — широтно-импульсный сигнал;
- программирование числа периодов широтно-импульсного сигнала на одном периоде фазного напряжения;
- работу от встроенного или внешнего интерфейса;
- прием и обработку управляющего кода с высокими или низкими активными уровнями сигналов;
- выдачу на ключевой усилитель мощности управляющих сигналов с высоким или низким активным уровнем.

Кроме перечисленных типов двигателей МКЭД может управлять электромеханическими преобразователями электрогидравлических (пневматических) приводов.

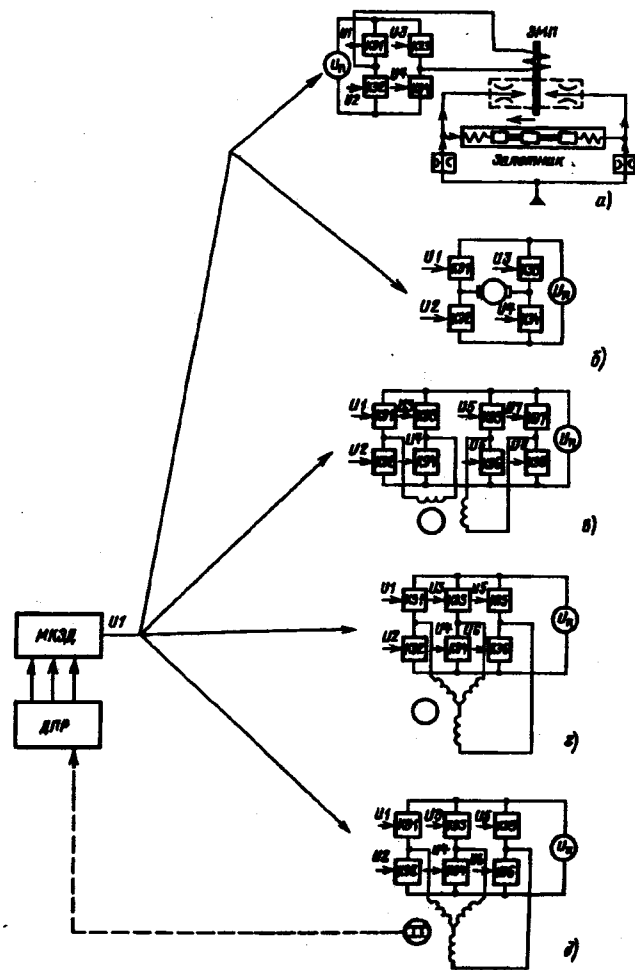


Рис. 2. Использование МКЭД для управления электромагнитом (а), двигателем постоянного тока (б), двухфазным асинхронным двигателем (в), синхронным двигателем (г); бесконтактным двигателем постоянного тока (д)

На рис. 3 приведена схема МКЭД. Он имеет блочную структуру (рис. 3) и состоит из интерфейса (1), блока выделения модуля и знака из кода управления (2), блока формирования логических переменных (3), зависящих от времени, в том числе преобразователь код — широтно-импульсный сигнал (ПКШИС) со схемой выбора числа разрядов, блока выбора числа периодов широтно-импульсного сигнала на одном периоде фазного напряжения (4), счетчика синхронного трехфазного двигателя (5), блока формирования управляющих логических функций для четырех типов двигателей (6) и блока настройки на один из четырех типов электродвигателей (7).

Базовый матричный кристалл изготовлен по КМОП (комплементарная металл—окисел—полупроводник) технологии с поликремниевым затвором. Напряжение питания — 5 В. Кристалл размером 7,15×6,35 мм помещен в пластмассовый или металлокерамический корпус (17×17 мм) с четырехсторонним расположением 64 выводов.

Интерфейс обеспечивает протокол обмена МПИ ОСТ 11.305.903-80 ($Q=BUS$) в режиме вывода данных. Входные и выходные сигналы интерфейса соответствуют общепринятым обозначениям. Для МКЭД зарезервированы восемь адре-

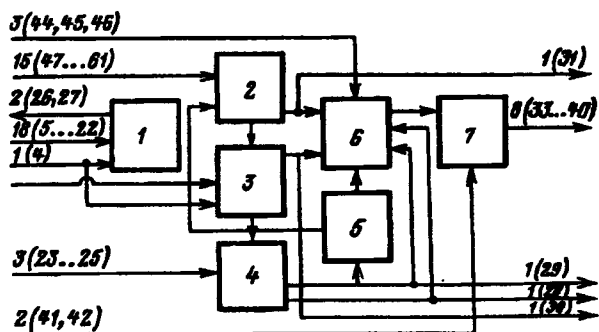


Рис. 3. Структурная схема МКЭД [цифры указывают количество выводов, цифры в скобках — номера выводов (табл. 5)]

сов, которые определяются пользователем в соответствии с табл. 1.

При использовании встроенного интерфейса сигналы *WRO* и *WRI*, *D11—D1* и *DA11—DA1* соответственно должны быть внешне соединены между собой. Если МКЭД применяется совместно с вычислителем, имеющим протокол обмена другого типа, необходим внешний интерфейс, который должен сформировать сигнал *WRI* для записи входных данных. При этом сигналы *DA12—DA1*, *SYNC*, *DOUT*, *BS*, *A1—A3* должны быть заземлены.

Блок выделения модуля и знака из кода управления принимает тринадцатиразрядный код управления K_y (знаковый разряд и двенадцать разрядов мантиссы), формирует логический сигнал *SG*

$$SG = \begin{cases} 1, & \text{если } K_y < 0; \\ 0, & \text{если } K_y \geq 0. \end{cases} \quad (1)$$

В случае, если МКЭД является внешним устройством микроЭВМ типа ДВК ("Электроника-60"), т.е. работает со встроенным интерфейсом МПИ ОСТ 11.305.903-80 (активный уровень сигналов — низкий), на МКЭД поступает инверсный код управления, и значение сигнала *INV* должно быть установлено в состояние логической единицы. В случае, если МКЭД работает совместно с микроЭВМ другого типа и на вход поступает код управления с высоким активным уровнем сигналов, значение сигнала *INV* должно быть установлено в состояние логического нуля.

Переменная *SG* определяет направление вращения двигателя и передается в блок формирования управляющих логических функций, где уча-

Таблица 1

Значения разрядов			Восьмеричный адрес
A3	A2	A1	
0	0	0	167616
0	0	1	167614
0	1	0	167612
0	1	1	167610
1	0	0	167606
1	0	1	167604
1	1	0	167602
1	1	1	167600

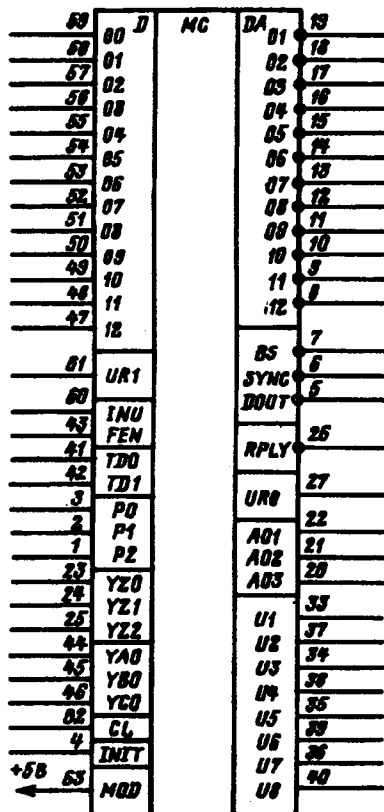


Рис. 4. Условное графическое обозначение МКЭД

ствует в реализации законов коммутации для всех четырех типов двигателей.

На выходе схемы всегда будет абсолютное значение кода управления $|K_y|$; модуль кода управления при широтно-импульсном управлении определяет среднее значение скорости.

Блок формирования логических переменных, зависящих от времени, в том числе преобразователь код — широтно-импульсный сигнал со схемой выбора числа разрядов предназначен для формирования трех логических переменных *Q, Y, Z*. Переменная *Q* представляет собой широтно-импульсный сигнал, длительность которого пропорциональна модулю кода управления. Среднее значение скорости (тока) двигателя при импульсном управлении определяется временным интервалом, в течение которого на одном периоде широтно-импульсного сигнала к двигателю либо прикладывается напряжение, либо осуществляется динамическое торможение. Алгоритм формирования этого временного интервала описан в [3] и реализуется с помощью двух счетчиков периода (СП) и рабочего (СР). Математически этот временной интервал можно описать выражением:

$$Q = \begin{cases} 1, & \text{если } \left\{ (k-1)T < m\tau_{02} \leq (k-1)T + |K_y|\tau_{02}; \right. \\ 0, & \text{если } \left. (k-1)T + |K_y|\tau_{02} < m\tau_{02} \leq kT, \right. \end{cases} \quad (2)$$

где $m = 1, 2, 3, \dots$; $k = E[m/k_{СП}] + 1$ — номер периода; $k_{СП}$ — модуль счета СП; $E[\cdot]$ — целая часть числа в скобках; τ_{02} — время за которое содержимое СП и

СР изменяется на 1 или длительность периода генератора импульсов; $T = K_{СП} \tau_{02}$ — период переменной Q (широко-импульсного сигнала).

Переменная Y обеспечивает поочередную коммутацию стоек мостового КУМ при управлении ДПТ, совместно с переменной Z — постоянный сдвиг по фазе между напряжением в обмотках управления и возбуждения, равный $\pi/2$ при управлении АДД, а при управлении СТД обеспечивает постоянство и определяет длительность периодов фазных напряжений.

Логическую переменную Y можно выразить соотношением

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{если } 2(k-1)T \leq m\tau_{02} \leq (2k-1)T; \\ 0, & \text{если } (2k-1)T < m\tau_{02} \leq 2kT. \end{cases} \quad (3)$$

Переменная Z при управлении АДД обеспечивает постоянство периодов фазных напряжений в обмотках управления и возбуждения и совместно с переменной Y реализует постоянный сдвиг по фазе между напряжением в обмотках управления и возбуждения, равный $\pi/2$.

Логическую переменную Z можно выразить соотношением

$$Z = \begin{cases} 0, & \text{если } 4(k-1)T < m\tau_{02} \leq 2(2k-1)T; \\ 1, & \text{если } 2(2k-1)T < m\tau_{02} \leq 4kT. \end{cases} \quad (4)$$

Запрограммированное число разрядов ПКШИС (табл. 2) определяет максимальный код управления.

Таблица 2

P_2	Значения разрядов		Число разрядов ПКШИС
	P_1	P_0	
0	0	0	5
0	0	1	6
0	1	0	7
0	1	1	8
1	0	0	9
1	0	1	10
1	1	0	11
1	1	1	12

Блок выбора числа периодов широко-импульсного сигнала на одном периоде фазного напряжения реализует сдвиг переменных Y и Z относительно старшего разряда СП в пределах семи разрядов. Синхронизация логических переменных Q , Y и Z обеспечивается тем, что СП и СР работают от одного внешнего генератора импульсов. Программирование осуществляется с помощью трех внешних выводов YZ_2 , YZ_1 , YZ_0 .

Таблица 3

Значения разрядов			Число периодов ШИС на одном периоде фазного напряжения
YZ_2	YZ_1	YZ_0	
0	0	0	4
0	0	1	8
0	1	0	16
0	1	1	32
1	0	0	64
1	0	1	128
1	1	0	256
1	1	1	512

Счетчик СТД формирует три логические переменные YA , YB , YC , сдвинутые друг относительно друга на 120° . Указанные переменные реализуют систему фазных напряжений СТД.

Блок формирования управляющих логических функций (УЛФ) реализует оптимальные законы коммутации для четырех типов двигателей. Под оптимальными здесь понимают законы коммутации, реализованные минимальным числом элементов на основе обобщенной минимально-необходимой системы логических переменных.

Для двигателя постоянного тока УЛФ U_1-U_4 имеют вид:

$$\begin{aligned} U_1 &= \overline{Y} \overline{Q} \vee \overline{SG} Q; & U_2 &= \overline{U_1}; \\ U_3 &= \overline{Y} \overline{Q} \vee SG Q; & U_4 &= \overline{U_3}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для асинхронного двухфазного двигателя УЛФ U_1-U_8 имеют вид:

$$\begin{aligned} U_1 &= \overline{SG} \oplus (\overline{Z} \oplus Y) \vee \overline{Q}; & U_2 &= \overline{U_1}; \\ U_3 &= SG \oplus (\overline{Z} \oplus Y) \vee \overline{Q}; & U_4 &= \overline{U_3}; \\ U_5 &= Z; & U_6 &= \overline{U_5}; \\ U_7 &= \overline{Z}; & U_8 &= \overline{U_7}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для трехфазных синхронного двигателя и бесконтактного двигателя постоянного тока УЛФ U_1-U_6 имеют вид:

$$\begin{aligned} U_1 &= (SG \oplus YA) Q; & U_2 &= \overline{U_1}; \\ U_3 &= (SG \oplus YB) Q; & U_4 &= \overline{U_3}; \\ U_5 &= (SG \oplus YC) Q; & U_6 &= \overline{U_5}. \end{aligned} \quad (7)$$

В выражениях (5) — (7) приняты обозначения: \vee — логическое сложение; \cdot — логическое умножение; \oplus — сумма по модулю два; верхнее подчеркивание — инверсия.

Блок настройки на тип двигателя обеспечивает прохождение на выход контроллера одного из векторов УЛФ для двигателя, определенного с помощью двух выводов в соответствии с табл. 4.

Таблица 4

TDI	TDO	Тип двигателя
0	0	ДПТ
0	1	АДД
1	0	СТД
1	1	БДПТ

Сигнал FEN обеспечивает инвертирование векторов управляющих логических функций, что дает возможность настройки на тип ключевого элемента ($n-p-n$) либо ($p-n-p$).

В табл. 5 указаны номера и метки выводов МКЭД.

На рис. 4 показано условное графическое обозначение МКЭД.

В заключение отметим, что описанная разработка, являясь новым, не имеющим прямых ана-

логов механотронным элементом, гарантирует новизну и улучшение потребительских качеств энергоприводной системы в целом. Перспективным представляется использование МКЭД в программируемых источниках электро-, гидро- и пневмопитания.

Таблица 5

Номер вывода	Метка вывода	Функциональное назначение
1	P2	Выбор числа разрядов ПКШИС, вход
2	P1	Выбор числа разрядов ПКШИС, вход
3	P0	Выбор числа разрядов ПКШИС, вход
4	INIT	Начальная установка, вход
5	DOUT	Сигнал вывода данных, вход
6	SYNC	Сигнал синхронизации активного устройства, вход
7	BS	Выбор внешнего устройства, вход
8	DA12	Данные/адрес 12 разряд, вход
9	DA11	Данные/адрес 11 разряд, вход
10	DA10	Данные/адрес 10 разряд, вход
11	DA9	Данные/адрес 9 разряд, вход
12	DA8	Данные/адрес 8 разряд, вход
13	DA7	Данные/адрес 7 разряд, вход
14	DA6	Данные/адрес 6 разряд, вход
15	DA5	Данные/адрес 5 разряд, вход
16	DA4	Данные/адрес 4 разряд, вход
17	DA3	Данные/адрес 3 разряд, вход
18	DA2	Данные/адрес 2 разряд, вход
19	DA1	Данные/адрес 1 разряд, вход
20	A3	Выбор адреса внешнего устройства, вход
21	A2	Выбор адреса внешнего устройства, вход
22	A1	Выбор адреса внешнего устройства, вход
23	YZ0	Выбор числа периодов ШИС, вход
24	YZ1	Выбор числа периодов ШИС, вход
25	YZ2	Выбор числа периодов ШИС, вход
26	RPLY	Ответ внешнего устройства, выход
27	WRO	Запись данных, выход
28	ZI	Технологический сигнал, выход
29	YI	Технологический сигнал, выход
30	QI	Широтно-импульсный сигнал, выход
31	SGI	Сигнал знака кода управления, выход
32	GND	Напряжение 0 В
33	U1	Управляющий сигнал, выход
34	U3	Управляющий сигнал, выход
35	U5	Управляющий сигнал, выход
36	U7	Управляющий сигнал, выход
37	U2	Управляющий сигнал, выход
38	U4	Управляющий сигнал, выход
39	U6	Управляющий сигнал, выход
40	U8	Управляющий сигнал, выход
41	TDO	Выбор типа двигателя, вход
42	TD1	Выбор типа двигателя, вход
43	FEN	Тип ключевого элемента, вход
44	YA0	Сигнал с датчика положения ротора, вход
45	YB0	Сигнал с датчика положения ротора, вход
46	YC0	Сигнал с датчика положения ротора, вход
47	D12	Входные данные, знаковый разряд, вход
48	D11	Входные данные, старший разряд мантисы, вход
49	D10	Входные данные, вход
50	D9	Входные данные, вход
51	D8	Входные данные, вход
52	D7	Входные данные, вход
53	D6	Входные данные, вход
54	D5	Входные данные, вход
55	D4	Входные данные, вход
56	D3	Входные данные, вход
57	D2	Входные данные, вход
58	D1	Входные данные, вход
59	D0	Входные данные, младший разряд мантисы, вход
60	INV	Выбор уровня активного сигнала, вход
61	WR1	Сигнал записи данных, вход
62	CL	Подключение внешнего генератора импульсов, вход
63	MOD	Технологический сигнал, вход
64	USS	Напряжение питания +5 В

Список литературы

1. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями/ С.Г.Герман-Галкин, В.Д.Лебедев, Б.А.Марков, Н.И.Чечерин. Л.: Энергоатомиздат, Ленингр.отд-ние, 1986.
2. Быстродействующие электроприводы постоянного тока с широтно-импульсными преобразователями/М.Е.Гольц, А.Б.Гудзенко, В.М.Сотреров и др. М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Электропривод летательных аппаратов: Учебник для авиационных вузов/Под общей ред. В.А.Полковникова. М.: Машиностроение, 1990.
4. Певев Б.Н. Микропроцессорное управление бесконтактными двигателями постоянного тока//Электротехника. 1992. № 12. С.24—28.
5. Певев Б.Н. Микропроцессорное управление синхронными трехфазными двигателями//Электротехника. 1993. № 1. С.32—37.
6. Pevov B.N. International seminar on the DINAMICAL AND STRENGTH ANALISIS OF LRIVING SYSTEMS. Svratika Czech Republic. 1993.May 3—6. P.243—246.
7. Pevov B.N. The methods and means for sample control of motors. Proceedings of the 1993 MAIBUAA international symposium on automatic control. Moscow. Yaropolets. Vol.1. Part 2. P.178—181.

РОБАСТНЫЙ РЕГУЛЯТОР ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ МОЩНОГО БИОТЕХНИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА

В.Н.ОСТРИРОВ, канд.техн.наук, А.Н.ПРИБОРА

МЭИ

Имеется широкий класс биотехнических манипуляторов, эффективность функционирования которых может быть значительно повышена путем их автоматизации и перевода в класс манипуляционных роботов с интерактивным автоматическим управлением. Сюда относятся машины манипуляционного типа для открытых и подземных горных работ, для строительных, подъемно-транспортных и погрузочно-разгрузочных работ, управление которыми осуществляется оператором в системе командного управления приводами степеней подвижности.

Технологический процесс таких биотехнических манипуляторов содержит операции, обработка которых связана с движением по траектории. Автоматизация траекторных перемещений позволяет улучшить качество управления, уменьшить напряженность труда оператора, снизить влияние на качество управления перечисленных факторов и увеличить производительность механизма путем минимизации времени траекторных перемещений.

При автоматическом воспроизведении траекторных перемещений возникает задача минимизации ошибки отклонения от траектории и позиционирования в точке останова.

Позиционирование мощного биотехнического манипулятора осложнено следующими факторами:

- высоким уровнем параметрических и внешних возмущений, обусловленных изменениями как параметров технологической среды в широких пределах, так и параметров самого манипулятора при параллельной работе приводов степеней подвижности;

- невозможностью или нежелательностью по условиям эксплуатации в большинстве случаев измерять внешние воздействия и электромеханические координаты манипулятора;

- недостаточно жесткой связью между двигателем и рабочим органом и многомассовой механической частью;

- необходимостью ограничения динамических нагрузок;

- ограничением момента двигателя на уровне стопорного значения;

- ограничением первой производной тока якоря в системах электропривода постоянного тока;

- наличием люфтов в передачах и резонансными явлениями при многодвигательном приводе;

- нелинейностью системы электропривода.

Все это в комплексе делает невозможным использование для позиционирования биотехнического манипулятора стандартных решений и ставит задачу разработки методики синтеза системы управления позиционированием.

Биотехнический манипулятор в общем случае не может быть описан как одномассовая система.

Примем, что механическая часть манипулятора описывается как многомассовая упругая система и рабочий орган располагается на конечной массе.

При наличии колебательного движения рабочего органа необходимо потребовать от системы управления позиционированием демпфировать упругие колебания. При этом основная задача системы управления — обеспечение необходимой по технологии точности позиционирования.

Таким образом, можно строить алгоритмы управления, обеспечивающий позиционирование промежуточной массы и требуемый уровень демпфирования упругих процессов. При таком определении принципа организации алгоритма позиционирования для электромеханических многомассовых систем с упругими связями можно сформулировать три критерия качества позиционирования: точность позиционирования (основная); быстродействие процесса позиционирования; уровень демпфирования упругих колебаний в системе.

Первые два критерия — общие с традиционной задачей позиционирования, третий отражает специфику — наличие упругих связей. Наличие трех критериев качества позиционирования позволяет говорить о многокритериальности задачи синтеза системы управления позиционированием.

Закон управления позиционированием должен удовлетворить трем критериям качества и обеспечить малую чувствительность критериев при параметрических и внешних возмущениях.

Для синтеза системы управления позиционированием необходимо получить математическое описание разомкнутой электромеханической системы.

Система электропривода и механическая часть биотехнического манипулятора описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, которые учитывают силы трения в передаточных механизмах; диссипативные потери в упругих элементах, составляющие моментов двигателей, обусловленные силами трения в подшипниках и потерями в стали двигателей, зависимость сил трения от скоростей и передаваемых мощностей, зазоры в зубчатых передачах; упругости элементов передач и конструкции манипулятора; нелинейность кривых намагничивания электрических машин.

На этапе синтеза упростим математическое описание механической части. Будем описывать механическую часть как двухмассовую упругую систему без внутреннего демпфирования. Таким образом, мы будем синтезировать закон управления позиционированием для биотехнических манипуляторов с механической частью, допускающей для анализа режима позиционирования уп-

рошение математического описания. Исключая из рассмотрения внутреннее демпфирование, мы рассматриваем наиболее тяжелый случай, когда обеспечить необходимое демпфирование мы пытаемся только средствами электропривода.

Математическое описание двухмассовой системы при электромагнитном моменте двигателя как входном воздействии известно [1]. Для синтеза системы управления позиционированием необходимо дополнить это описание уравнением звена, преобразующим выходной сигнал системы управления в электромагнитный момент двигателя.

Рассмотрим контур момента, синтезированный методом последовательной коррекции [1]. Замкнутый контур момента при пренебрежении внутренней электромеханической обратной связью может быть описан как звено второго порядка. Если контур момента настраивается как высокодемпфированное звено, то при этом условии можно упростить передаточную функцию, отбросив член второго порядка. Таким образом, замкнутый контур момента на стадии синтеза системы управления позиционированием можно описать как аperiodическое звено. При этом мы пренебрегаем внутренней электромеханической обратной связью, которая будет оказывать существенное влияние лишь в начале процесса позиционирования, когда скорость двигателя близка к номинальной, и не будет влиять на окончание процесса позиционирования.

Для более точного описания дополним замкнутый контур момента на входе нелинейным звеном в виде усилителя с насыщением. Нелинейное звено отражает то, что в системе электропривода для уменьшения динамических нагрузок ограничивается момент двигателя.

Определим двухмассовую электромеханическую систему в виде последовательного соединения замкнутого контура момента и двухмассовой механической упругой системы. Входной сигнал двухмассовой электромеханической системы (ДЭМС) — сигнал задания момента.

Математическое описание ДЭМС получается объединением системы уравнений, описывающих двухмассовую систему, и уравнений, описывающих замкнутый контур момента:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dM}{dt} &= -\frac{1}{T_{эм}} M + \frac{K_m}{T_{эм}} u_y; \\ \frac{d\Omega_1}{dt} &= \frac{1}{J_1} (M - M_{12} - M_{c1}); \\ \frac{dM_{12}}{dt} &= C_{12} (\Omega_1 - \Omega_2); \\ \frac{d\Omega_2}{dt} &= \frac{1}{J_2} (M_{12} - M_{c2}); \\ \frac{d\varphi_1}{dt} &= \Omega_1; \quad \Delta\varphi = \varphi_3 - \varphi_1; \end{aligned} \right\} (1)$$

$$u_y = \begin{cases} U_{эм \max}, & \text{если } |u_{эм}| \leq U_{эм \max}; \\ U_{эм \max}, & \text{если } u_{эм} > U_{эм \max}; \\ -U_{эм \max}, & \text{если } u_{эм} < -U_{эм \max}; \end{cases}$$

где M — электромагнитный момент двигателя, прикладываемый к первой массе; Ω_1, Ω_2 — угловые скорости вращения первой и второй масс соответственно; M_{12} — упругий момент; φ_1 — угол поворота первой массы; M_{c1}, M_{c2} — моменты сопротивления, прикладываемые к первой и второй массам соответственно; $U_{эм \max}$ — модуль максимального сигнала задания момента; $T_{эм}$ — постоянная времени контура момента; K_m — коэффициент усиления контура момента; J_1 — момент инерции первой массы; C_{12} — жесткость связи между первой и второй массами; J_2 — момент инерции второй массы; φ_3 — заданное значение углового положения первой массы.

Определим вектор состояния системы как

$$X = \begin{pmatrix} M \\ \Omega_1 \\ M_{12} \\ \Omega_2 \\ \Delta\varphi \end{pmatrix}. \quad (2)$$

При таком определении X система описывается следующим векторно-матричным уравнением:

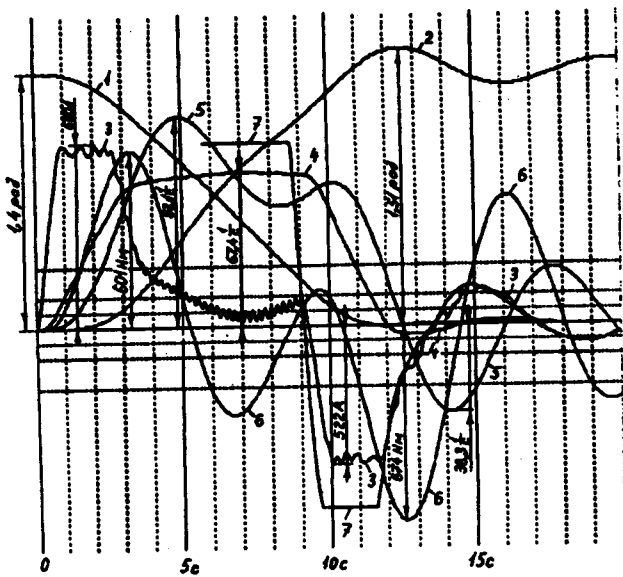
$$\dot{X} = AX + BU, \quad (3)$$

где U — вектор управления; A — матрица системы; B — матрица входа;

$$A = \begin{pmatrix} -1/T_{эм} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/J_1 & 0 & -1/J_1 & 0 & 0 \\ 0 & C_{12} & 0 & -C_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1/J_2 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$B = \begin{pmatrix} K_m/T_{эм} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

При позиционировании ДЭМС необходимо привести все переменные состояния к нулевому уровню и поддерживать их на этом уровне. Практически достаточно для выполнения технологических задач уменьшить и поддерживать на нулевом уровне угловое отклонение первой массы и обеспечить затухание колебательных процессов второй массы. Таким образом, процесс позиционирования ДЭМС является задачей стабилизации,



Процесс позиционирования экскаватора-драглайна:

1 — угловое рассогласование по платформе, рад; 2 — угловое положение ковша, рад; 3 — ток якоря, А; 4 — скорость платформы, рад/с; 5 — скорость ковша, рад/с; 6 — упругий момент, Н·м; 7 — сигнал управления

которая заключается в переводе системы из некоторого начального состояния в нулевое [2].

При введении некоторого критерия качества можно определить позиционирование как задачу оптимальной стабилизации.

Будем синтезировать линейный детерминированный оптимальный регулятор, минимизирующий интегральный критерий качества, используя результаты [3]. При этом будем считать, что параметры ДЭМС постоянны и она описывается векторно-матричным уравнением (3).

Введем как критерий качества стабилизации значение интеграла от квадратичной формы

$$I = \int_{t_0}^{t_1} (Z^T R_1 Z + U^T R_2 U) dt, \quad (4)$$

где Z — вектор выходных переменных; R_1, R_2 — положительно определенные весовые матрицы.

Вектор состояния системы и вектор выходных переменных связаны через матрицу D

$$Z = DX. \quad (5)$$

Учет управляющего воздействия в критерии качества позволяет синтезировать управление с ограниченной амплитудой.

Требуется определить такое управление U на интервале времени $[t_0, t_1]$, чтобы доставить минимум (4) при переводе системы из начального состояния в нулевое.

Поставленная задача относится к классу вариационных и сводится к решению дифференциального уравнения Риккати:

$$-\dot{P}(t) = D^T R_1 D - P(t) B R_2^{-1} B^T P(t) + P(t) A + A^T P(t) \quad (6)$$

с конечным условием $P(t_1) = 0$.

Имея решение $P(t)$, можно определить матрицу коэффициентов обратных связей как

$$K(t) = R_2^{-1} B^T P(t). \quad (7)$$

Закон управления при этом получается в виде линейной комбинации компонент вектора состояния

$$U(t) = -K(t)X(t). \quad (8)$$

Для реализации полученного закона управления требуется измерять все компоненты вектора состояния системы, а также изменять коэффициенты обратных связей во времени.

При минимизации критерия качества на бесконечном интервале времени решение дифференциального уравнения Риккати, если оно существует, стремится к установившемуся значению P , которое определяется решением алгебраического уравнения Риккати;

$$0 = D^T R_1 D - P B R_2^{-1} B^T P + A^T P + P A. \quad (9)$$

В этом случае закон управления существенно упрощается и принимает следующий вид:

$$U(t) = -KX(t), \quad (10)$$

где K — постоянная матрица коэффициентов, определяемая как

$$K = R_2^{-1} B^T P. \quad (11)$$

Условие существования установившегося решения алгебраического уравнения Риккати основано на проверке свойства полной управляемости системы.

Известно [3], что система полностью управляема тогда, когда ранг матрицы управляемости

$$Q = [B \cdot AB \cdot AB^2 \cdot AB^3 \cdot AB^4] \quad (12)$$

равен порядку системы.

Для синтеза закона управления позиционированием необходимо определить квадратичный критерий качества (4) и решить уравнение Риккати (8).

Для реализации синтезированного закона управления необходимо измерять все переменные состояния ДЭМС. Можно показать, что реализовать синтезированный закон с использованием датчиков переменных состояния невозможно.

Однако в ДЭМС есть возможность измерять только одну переменную состояния — угловое рассогласование первой массы, а остальные переменные состояния восстанавливать наблюдателем. Закон управления в этом случае принимает вид

$$U(t) = -K\hat{X}(t), \quad (13)$$

где $\hat{X}(t)$ — вектор состояния наблюдателя.

Измерение углового рассогласования возможно при использовании фотоимпульсного датчика положения и характеризуется помехозащищеннос-

тью, относительной аппаратурной простотой и высокой точностью измерения.

Приведенная методика синтеза закона управления применена для разработки алгоритма позиционирования экскаватора-драглайна ЭШ-6/45М. Результаты исследований при изменении массы ковша, введении активных моментов сопротивления и ненулевых фазовых координат ковша позволяют утверждать о робастности системы к параметрическим и внешним возмущениям. Исследования проведены в компьютерной среде DragCAD. На рисунке приведены результаты мо-

делирования процесса позиционирования (грузеный ковш у пяты стрелы).

Список литературы

1. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления: Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1989.
3. Квасерман Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. М.: Мир, 1977.

УДК 62-83:621.313.333.001.5

ИССЛЕДОВАНИЕ НА ПЭВМ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТИРИСТОРНЫМИ КОММУТАТОРАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМАХ УПРАВЛЕНИЯ

А.Л.ПИСАРЕВ, Ю.Т.ПОРТНОЙ

ВНИИЭМ, г.Москва

Широкое распространение благодаря простоте и надежности приобрел электропривод с шестивентильным тиристорным коммутатором (ТК) и трехфазным асинхронным короткозамкнутым двигателем (АД).

В НПП ВНИИЭМ разработаны и изготавливаются электроприводы такого типа и его отдельные элементы.

Среди ряда разработок можно отметить следующие:

тиристорные регуляторы напряжения мощностью от 4 до 250 кВт для плавного пуска АД с системой управления на базе элементов жесткой интегральной логики;

электропривод органов регулирования ядерного реактора (СУЗ) с АД мощностью 90 Вт и тиристорным коммутатором, работающий в том числе в частотно-шаговом режиме (система управления — на базе элементов жесткой интегральной логики);

универсальный микроконтроллер на базе микропроцессора КР1816ВЕ31, позволяющий реализовать любые алгоритмы и режимы управления электроприводом с ТК (регулирование напряжения, квазичастотное управление, частотно-шаговые режимы, в том числе при питании от однофазной сети, и др.).

На основе данного микроконтроллера НПО "Электропривод" совместно с НПП ВНИИЭМ разработал тиристорную станцию управления ТСУ-4 широкого применения.

Разработанный в НПП ВНИИЭМ ТК с микропроцессорным управлением позволил приступить к созданию в системах АСУ ТП АЭС базового электропривода исполнительных механизмов АЭС (исполнительных автоматов), включающих приво-

ды насосов, компрессоров, запорной и регулирующей арматуры, органов регулирования СУЗ с синхронным реактивным двигателем, механизмов перегрузочного манипулятора и ряда других. Кроме того, совместно с НПО "Электропривод" и ИПУ ведутся работы по созданию ряда других электроприводов (для лифтов, буровых станков-качалок и пр.).

Таким образом, спектр электроприводов с ТК весьма широк и разнообразен.

В связи с этим актуальным является исследование электропривода с ТК применительно к конкретным механизмам с учетом требований к их управлению и особенностей их нагрузочных характеристик, а также выработка рекомендаций по тому или иному способу управления ТК.

Для решения данной задачи работа в НПП ВНИИЭМ ведется в двух направлениях.

1. Создан натурно-дидактический стенд, включающий АД типа ДАТ мощностью 60 Вт с нагрузочным агрегатом, обеспечивающим работу двигателя в четырех квадрантах, тиристорный коммутатор с микропроцессорным управлением и ПЭВМ. Программное обеспечение микроконтроллера охватывает все возможные алгоритмы параметрического управления ТК.

От ПЭВМ, связанной с микроконтроллером через последовательный интерфейс, как вручную, так и автоматически задаются необходимые алгоритмы и режимы управления ТК, которые могут меняться в реальном времени. Таким образом, данный натурно-дидактический стенд позволяет исследовать электропривод с ТК при всех алгоритмах и режимах управления и выработать рекомендации по их рациональному выбору и сочетанию применительно к различным электроприводам.

2. Моделирование на ПЭВМ режимов работы электропривода с ТК.

Характеристики такого электропривода при регулировании напряжения ТК достаточно изучены и не нуждаются в дополнительных исследованиях.

В статье описаны исследования других методов регулирования скорости АД, которые мы назовем кодо-импульсным [1], частотно-шаговым [2] и квазичастотным [3].

При разнообразии алгоритмов управления эти методы используют простейший шестивентильный ТК и, в принципе, позволяют получить жесткие механические характеристики АД в разомкнутой системе управления.

Кодо-импульсный метод состоит в том, что ТК периодически включает и отключает одновременно все фазы нагрузки, причем эти включения синхронизированы с сетью. (В [1] автор не применяет такого названия. Здесь оно используется для того, чтобы отличить этот метод от других). Время включенного состояния ключей равно $m\tau$, где τ — тактовый интервал времени, обычно равный $1/6$ части периода сети, а время выключенного состояния ключей равно $n\tau$. Из [1] видно, что период основной (нижней) гармоники частоты на нагрузке пропорционален сумме $(m + n)$. Там же показано, что отдельные участки механической характеристики могут определяться и более высокими гармониками, которые несут в себе большую мощность. Комбинируя различные значения m и n , можно получать достаточно жесткие характеристики АД с различными скоростями, меньшими номинальной.

Частотно-шаговый метод цифрового программного управления АД содержит в себе четыре разных алгоритма управления, при которых из частей синусоид сетевого напряжения формируются различные последовательности импульсов напряжения, поступающие на нагрузку и обеспечивающие поворот вектора результирующего магнитного потока двигателя в шаговом режиме. При сравнительно быстром "шагании" обеспечивается непрерывное вращение двигателя. Скорость различна для разных алгоритмов и может меняться в широких пределах с помощью цифрового управления. Два алгоритма управления обеспечивают реверс двигателя.

При квазичастотном методе питания статорных обмоток АД осуществляется трехфазной системой однополупериодно-выпрямленных токов переменной полярности, сдвинутых по низкой частоте на 120° . При этом частота сети является несущей, а требуемая низкая частота — модулирующей.

Для управления напряжением на АД во всех упомянутых методах применяется фазовое управление (изменяется угол открытия тиристоров α).

Теперь рассмотрим структуру цифровой модели, на которой были смоделированы все перечисленные методы управления скоростью АД.

Для моделирования был применен отечественный пакет программ "Эльтран", получивший ши-

рокое распространение при моделировании статических преобразователей. В пакете "Эльтран" используется блочный метод построения модели. В данном случае имеется три блока: блок силовой схемы, в который входят источники питания, ТК и АД своей статорной цепью (r_1, x_1 , противо-ЭДС двигателя E); блок алгоритма управления тиристорами, где формируются импульсы отпирания тиристоров; блок АД, где записана система управлений АД, определяющая его электрическое и механическое равновесие, преобразованная для решения на цифровой ЭВМ¹.

Исходная система дифференциальных уравнений электрического и механического равновесия АД, записанная в осях α и β , неподвижных относительно статора АД, взята из [4]. Преобразования системы уравнений заключаются в записи исходной системы в осях A, B, C , для чего ось α совмещается с осью A , а составляющие переменных по оси β преобразуются в составляющие по осям B и C умножением на соответствующие операторы поворота осей. Коэффициентами уравнений являются параметры Т-образной схемы замещения АД ($r_1, x_1, r_2', x_2', x_m$), а также момент инерции J . Эти параметры имеются в справочниках на соответствующие АД.

Говоря об адекватности модели реальному приводу, нужно отметить, что основным источником погрешности является предположение о постоянстве упомянутых параметров, которые определялись для режима работы, близкого к номинальному при питании АД синусоидальным напряжением. В действительности параметры АД будут переменными из-за эффектов вытеснения тока и насыщения. Забегая вперед, отметим, что ряд алгоритмов управления был реализован на макетном приводе. Разница в расчетных и опытных значениях не превышала 10%.

Для расчета были выбраны два типа АД: мало-мощный АД типа ДАТ53182-2 ($U = 380$ В; $I_n = 0,32$ А; $P_n = 60$ Вт; $n_n = 1280$ об/мин; КПД = 58%; $\cos\phi_n = 0,6$) и АД с повышенным скольжением типа 4АС90Л4УЗ ($U = 380$ В; $I_n = 5,84$ А; $P_n = 2,4$ кВт; $n_n = 1413$ об/мин; КПД = 76%; $\cos\phi_n = 0,82$).

Макет электропривода выполнен с двигателем ДАТ53182-2.

Содержание расчетов сводилось к следующему. В ПЭВМ загружалась блочная программа для определенного двигателя и алгоритма управления. Устанавливались значения суммарного (АД и механизма) момента инерции J_Σ и угла открытия тиристоров α . Приведенные результаты по всем способам регулирования получены при $\alpha = 0$. Подбор угла α , дающего оптимальные характеристики, нужно производить для каждой конкретной задачи. Затем последовательно задавались несколько значений статического момента нагрузки M_c . Для каждого из них вычислялись среднее значение угловой скорости $\bar{\omega}$ и действующее значение тока

¹ Модель разработана И.М.Шарановым

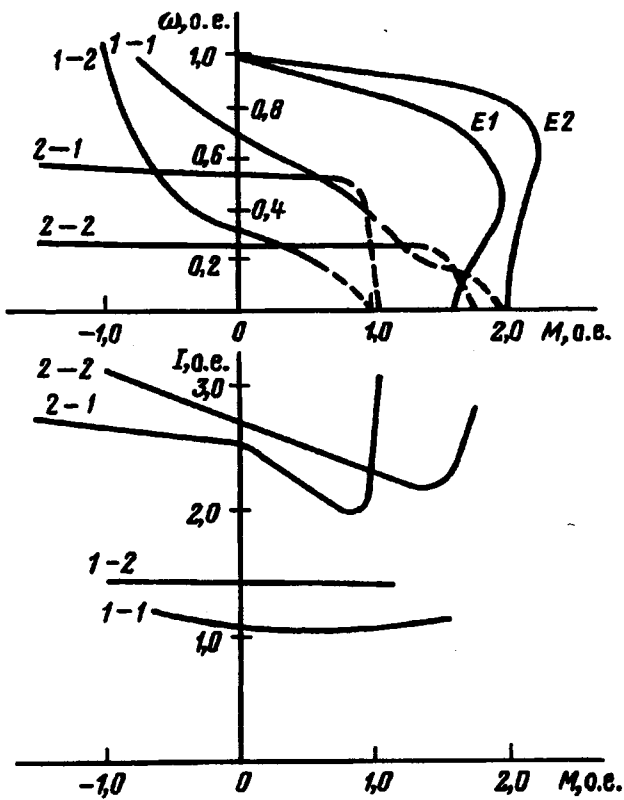


Рис. 1. Механические и токовые характеристики при кодо-импульсном управлении:

1-1, 1-2 — двигатель ДАТ; 2-1; 2-2 — 4АС90;
1-1, 2-1 — $m = 5, n = 8$; 1-2, 2-2 — $m = 2, n = 6$

E1, E2 — естественные механические характеристики двигателей ДАТ и 4АС90

статора I_c . По этим данным строились механические и токовые характеристики.

Модель позволяет реализовать любую зависимость $M_c = f(\omega)$. В данном случае применялась зависимость $M_c = \text{const}$ при наличии скорости и $M_c = 0$ при отсутствии скорости, что соответствует самотормозящемуся редуктору. Все величины могут выводиться на графопостроитель. Пример графика одного из режимов приводится ниже.

Перейдем к обсуждению результатов моделирования.

Кодо-импульсный метод регулирования. На рис. 1 представлены в относительных единицах механические и токовые характеристики двигателей АТД (мощность 60 Вт) и 4АС90 (2,4 кВт) для двух алгоритмов управления; 1 — $m = 5; n = 8$; 2 — $m = 2; n = 6$. На характеристиках указаны значения $\bar{\omega}$ и $M = M_c$. На самом деле вращающий момент двигателя имеет форму импульсов, а в скорости имеются значительные пульсации. Глубина пульсаций скорости зависит от суммарного момента инерции привода. Характеристики, представленные на рис. 1, рассчитывались при $J_\Sigma = 1,5J_{\text{дв}}$ для малого двигателя и $J_\Sigma = 3J_{\text{дв}}$ — для большого двигателя. Там, где привод переходит в шаговый режим, механические характеристики показаны пунктиром.

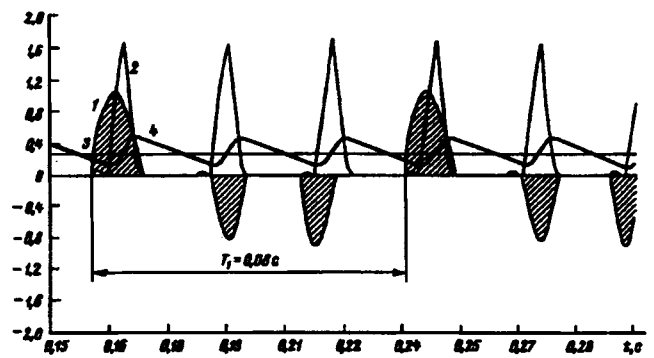


Рис. 2. Временные зависимости тока (кривая 1), момента двигателя (2), статического момента (3) и угловой скорости (4) при кодо-импульсном управлении

По принятым алгоритмам управления из формул [1] можно определить частоту основной (нижней) гармоники. Для алгоритма 1: $f_1 = f_c/13$; для алгоритма 2: $f_1 = f_c/4$.

Однако, как было упомянуто, механическая характеристика не обязательно соответствует основной гармонике. В данном случае такое соответствие имеется для алгоритма 2, а для алгоритма 1 большей мощностью обладает гармоника более высокой частоты (которая в [1] называется значимой гармоникой) $f_{\text{зн}} = 7/13 f_c$. Она и определяет скорость холостого хода.

Как видно из рис. 1, механические характеристики двигателей с разной мощностью сильно различаются между собой. Также видно, что с ростом мощности возрастает относительная величина тока, а следовательно, усугубляется проблема перегрева двигателя. На рис. 2 для двигателя ДАТ и режима 2 даны графики тока, момента двигателя, статического момента и угловой скорости (около $0,2 \omega_c$), характеризующие кодо-импульсный метод. Из кривых видны импульсный характер момента двигателя и весьма значительные колебания скорости. В данном случае суммарный момент инерции равен полутора кратному моменту инерции ротора двигателя.

Оценив рассмотренный способ регулирования скорости АД, можно отметить, что он обеспечивает жесткие механические характеристики (если судить по средней скорости). Основным недостатком способа являются чрезвычайно высокие пульсации скорости (при реально существующих моментах инерции механизмов) с переходом в шаговый режим с увеличением нагрузки. Вторым недостатком является высокая кратность тока нагрузки, в особенности для более мощных двигателей.

В целом этот способ регулирования скорости АД целесообразно применять только для кратковременных режимов работы (например, трогание с места) механизма с последующим переходом на другой алгоритм управления или кратковременную работу с низкой скоростью. При этом нужно еще иметь в виду, что значительные пульсации скорости могут быть вредны для механизмов. По-

этому применение этого способа регулирования ограничено.

Частотно-шаговый метод регулирования. На рис. 3 представлены механические и токовые характеристики двигателей ДАТ (60 Вт) и 4АС90 (2,4 кВт) для трех типов алгоритмов управления. Суммарные моменты инерции те же, что и в предыдущем случае. Для удобства механические характеристики изображены в первом и втором квадрантах, однако следует иметь в виду, что из приведенных алгоритмов только третий дает прямое вращение двигателя, а первый и четвертый — обратное. Теоретические значения относительной синхронной угловой скорости для алгоритмов 1, 3, 4 соответственно 0,2; 0,25; 0,5. Механические характеристики двигателя 4АС90 строго соответствуют этим значениям и весьма жестки. Характеристики для двигателя ДАТ несколько отступают от теоретических значений. Здесь также велики пульсации скорости. Участки механических характеристик, соответствующие шаговому режиму, изображены пунктиром. С точки зрения пульсаций скорости исключением является алгоритм 4, при котором пульсации в любой точке механической характеристики (за исключением скоростей, близких к нулю) даже при отсутствии дополнительного момента инерции на валу не превышали 15%. Для двигателя 4АС90 тормозные участки механических характеристик получились неустойчивыми и на рисунке не показаны.

Для данного способа регулирования характерно снижение токов при возрастании момента нагрузки, хотя токи в относительных единицах для мощного двигателя недопустимо велики (за исключением алгоритма 4).

Этот метод регулирования позволяет получать шаговый режим с любой частотой шагов. При достаточно редких шагах проблемы нагрева двигателя не существуют.

Оценив частотно-шаговый метод регулирования в целом, можно заключить, что он хорош для реализации шагового привода.

В качестве исполнительного двигателя с успехом может быть применен также синхронный двигатель. В этом случае положение ротора на каждом шаге будет фиксированным.

Применение этого метода для привода непрерывного вращения ограничено из-за больших пульсаций скорости при реально существующих суммарных моментах инерции. Алгоритм 4, удовлетворительный по пульсациям, может применяться для получения половинной скорости, однако он неудобен в связи с обратным направлением вращения по отношению к прямому включению и малым пусковым моментом, не превышающим номинального.

Квазичастотный метод регулирования. На рис. 4 представлены механические и токовые характеристики двигателей ДАТ (60 Вт) и 4АС90 (2,4 кВт) для двух алгоритмов управления, соответствующих угловым скоростям $\omega_1 = 1/2 \omega_c$ и $\omega_1 = 1/5 \omega_c$. Суммарный момент инерции $J_{\Sigma} = 3 J_{дв}$. Здесь, как

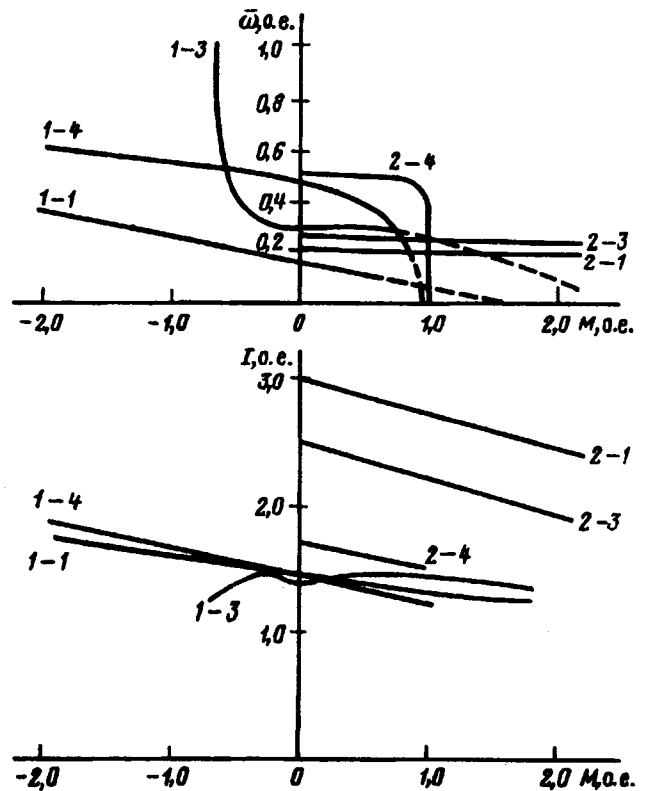


Рис. 3. Механические и токовые характеристики при частотно-шаговом управлении:

1 — двигатель ДАТ; 2 — 4АС90; 1-1, 2-1 — алгоритм 1; 1-3, 2-3 — алгоритм 3; 1-4, 2-4 — алгоритм 4;

и в ранее рассмотренных случаях, более мощный двигатель имеет жесткие механические характеристики, соответствующие теоретическим значениям ω_1 . Для малого двигателя (характеристики 1-1 и 1-2) такого соответствия нет. Большая кратность тока холостого хода для характеристики 2-2 объясняется тем, что для всех расчетов было принято $\alpha = 0$, а в данном случае $\omega_1 = 1/5 \omega_c$, что ведет к насыщению двигателя. При выборе оптимальных условий работы угол α должен подбираться.

При этом методе регулирования токи имеют умеренную кратность (для малого двигателя в районе $I_{ном}$, для большого — в районе $1,5 I_{ном}$, если избежать насыщения). Однако пульсации скорости велики.

В целом квазичастотный метод регулирования, так же как и два предыдущих метода, имеет ограниченное применение ввиду больших пульсаций момента и скорости.

Теперь подведем итог моделирования по всем трем рассмотренным методам управления АД с помощью шестивентильного ТК.

Все эти методы управления применимы для АД мощностью ориентировочно до 10 кВт, так как с увеличением мощности увеличиваются кратность тока при работе на низкой скорости и уровень пульсаций момента и скорости при заданном отношении $J_{\Sigma} / J_{дв}$.

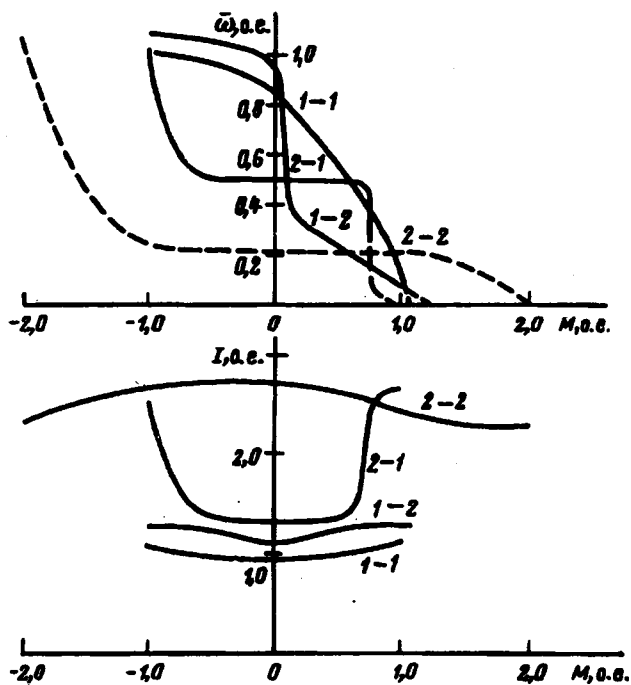


Рис. 4. Механические и токовые характеристики при квазичастотном управлении:

1 — двигатель ДАТ; 2 — 4АС90; 1-1, 2-1 — $\omega_1 / \omega_c = 1/2$;
2-1, 2-2 — $\omega_1 / \omega_c = 1,5$

Торможение во всех случаях производится за счет потерь в двигателе. Энергия в сеть не отдается.

Для всех методов характерен импульсный вращающий момент двигателя, что плохо совмещается с требованием плавного, непрерывного вращения двигателя. Повысить частоту пульсаций момента и уменьшить их амплитуду, не увеличивая

число тиристоров, принципиально невозможно. Снизить пульсации скорости увеличением числа тиристоров в большинстве случаев невозможно, так как привод должен обладать хорошей динамикой. Пульсации скорости частично гасятся из-за люфтов в редукторе или упругости клиноременной передачи, однако сами эти передающие звенья подвергаются повышенному износу.

Из изложенного следует, что эти способы регулирования АД могут найти ограниченное применение в основном для кратковременных режимов работы (например, пусковые режимы, режимы дотягивания при точном позиционировании и другие). Выбор одного из способов определяется путем сравнительных расчетов. При помощи частотно-шагового способа регулирования очень хорошо реализуется шаговый привод.

Примененный метод моделирования характеристик АД на ПЭВМ очень удобен и дает достаточно хорошее совпадение с экспериментом. Метод может с успехом применяться для моделирования любых типов приводов со статическими преобразователями и исполнительными АД.

Список литературы

1. Масандалов Л.Б. Теория, исследование и разработка асинхронного электропривода со специальными режимами работы. Дис... доктора техн.наук. М., 1992.
2. Портной Ю.Т. Регулируемый асинхронный электропривод с цифровым частотно-шаговым управлением //Электротехника. 1990. № 10.
3. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного электропривода/Л.П.Петров и др. М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. Моделирование асинхронных электроприводов с тиристорным управлением/Л.П.Петров и др. М.:Энергия, 1977.

УДК 621.852-83.001.5

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

А.Ю.ЗИНОВЬЕВ, В.Е.ПЛАТОНОВА, Ю.Н.СЕРГИЕВСКИЙ

МЭИ

Ременная передача (РП), как известно, широко используется в механизмах длительного режима работы, не требующих высокого передаточного отношения и точного согласования положения валов двигателя и рабочего органа. Такая популярность определяется гибкостью кинематической связи двигатель — рабочий орган, демпфированием рывков, хорошими массогабаритными показателями, бесшумностью работы, простотой в наладке и эксплуатации, дешевизной. Сравнительно невысокие, соизмеримые с потерями в двигателе потери в РП, которые также считались ее досто-

инством, постепенно становятся объектом внимания разработчиков и потребителей механизмов с РП. Это связано с общей тенденцией к энергосбережению, что особенно актуально для массовых установок, таких, например, как вентиляторных и насосных.

Путь разработчика к снижению энергопотребления РП — совершенствование конструкции ремней и шкивов, использование новых материалов. Это эффективный путь, но дорогостоящий и доступный лишь немногим крупным фирмам-изготовителям.

Путь потребителя — оптимальное проектирование РП, т.е. выбор из всех (обеспечивающих нормальную работоспособность передачи) сочетаний размеров, числа и типа ремней, а также диаметров шкивов именно тех, при которых потери минимальны. Следует отметить, что приведенные в справочной литературе и каталогах фирм-изготовителей методы расчета РП [1] не содержат фактора потерь в РП, а классические приемы расчета потерь не позволяют их оценить с достаточной для оптимального выбора РП точностью.

Для устранения данного пробела кафедрой автоматизированного электропривода (АЭП) МЭИ была поставлена задача создания методики экспериментального построения энергетических моделей РП, получения таких моделей и совершенствования на их базе техники оптимального расчета РП.

Под энергетической моделью РП понимается зависимость потерь в ней ΔP от влияющих на нее параметров передачи и режимов ее работы:

$$\Delta P = f(M, \omega, D, d, L, z, F),$$

где M, ω — момент и скорость на валу рабочего органа; D, d — диаметры ведомого и ведущего валов; L — рабочая длина ремня; z — число ремней; F — начальное натяжение ремня.

Данная зависимость была получена экспериментальным путем для диапазона передаваемых мощностей от 1 до 6 кВт. Эксперименты проводились на универсальном стенде для испытаний двигателей, механизмов и трансмиссий, разработанном на кафедре АЭП МЭИ и входящем в состав испытательной лаборатории кафедры.

В качестве объекта испытаний использовались ряды узких клиновых ремней сечением SPA и ремней зубчатой формы сечением XPA фирмы "OPT IBELT" (обозначения по ISO) длиной 900—3000 мм и соответствующие им шкивы различного диаметра (71—200 мм). Примененные методы испытаний, обработки результатов и проверки адекватности полученных моделей основаны на аппарате анализа размерностей и планирования эксперимента [2].

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты.

1. Разработаны оборудование и методика экспериментального определения зависимости потерь ΔP в ременной передаче от ее параметров и режимов работы.

2. Получены энергетические модели ременных передач с ремнями сечений SPA и XPA вида

$$\Delta P = AM\omega D^a L^b d^{-(a+b)} z^c,$$

где A, a, b, c — коэффициенты, найденные в результате обработки экспериментальных данных и постоянные для каждого сечения ремня.

3. Установлено, что начальное натяжение F , создаваемое при установке нового ремня и контролируемое в процессе эксплуатации, не влияет заметно на потери в передаче, если изменяется в пределах, допустимых фирмой-изготовителем.

4. Установлено также, что потери в различных экземплярах ремней определенного сечения могут отличаться в 2—3 раза, что характеризует большой допуск (в 30—50%) на значение коэффициента A в формуле для расчета потерь для каждого отдельного экземпляра ремня. Однако среднее значение коэффициента A , а также коэффициенты a, b и c остаются довольно стабильными в рамках одного и того же сечения, что позволяет надежно предсказывать затраты на потери энергии для многоручьевых передач, а также строить долгосрочные прогнозы затрат.

5. Разработаны процедуры выбора и проверки ременных передач с встроенными энергетическими моделями, позволяющие пользователю осуществлять оптимальное по потерям энергии и запасу прочности проектирование передачи, создается компьютерная поддержка данных процедур.

Список литературы

1. Воробьев И.И. Ременные передачи. М.: Машиностроение, 1979.
2. Ильинский Н.Ф. Элементы теории эксперимента. М.: МЭИ, 1988.

УДК 62-83.001.5

СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРИИ ПО СЕРТИФИКАЦИОННЫМ ИСПЫТАНИЯМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА БАЗЕ КАФЕДРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЭИ

Ю.Н.СЕРГИЕВСКИЙ, А.Н.ЛАДЫГИН, А.М.РОМАНОВ

МЭИ

В настоящее время на кафедре автоматизированного электропривода Московского энергетического института создается лаборатория по комплексным испытаниям электроприводов, их эле-

ментов и изделий на их основе. Задачей создаваемой лаборатории является удовлетворение потребностей разработчиков, производителей и пользователей данной продукции в анализе и в

улучшении ее потребительских качеств, а также подтверждение соответствия этой продукции требованиям стандартов с выдачей сертификата российского, а затем и международного образца.

Идея создания новой независимой лаборатории на базе университетской кафедры была высказана руководителями группы "Мехатроника" и поддержана Ассоциацией "Автоматизированный электропривод". При принятии решения о создании лаборатории учитывался многолетний опыт кафедры в области теоретических и экспериментальных исследований функциональных свойств электропривода, наличие совершенного испытательного и измерительного оборудования и квалифицированного научно-технического персонала. В последние годы по заказу одной из европейских фирм на кафедре велись тепловые, энергетические и электромеханические испытания асинхронных двигателей, а также энергетические испытания ременных передач с целью паспортизации данных элементов привода по широкому классу показателей и построения методики их выбора.

С другой стороны, представляется целесообразным и своевременным расширение сферы компетенции кафедры в области электропривода с чисто функциональных на все другие его показатели, такие как электро- и экологическая безопасность, устойчивость работы и надежность в реальных условиях эксплуатации, стабильность свойств при неблагоприятных параметрах внешней среды, при транспортировке и хранении и т.п.

При создании лаборатории и определении сферы оказываемых услуг кафедра руководствуется следующими принципами:

полная юридическая и финансовая независимость лаборатории от производителей, посредников и потребителей сертифицируемой продукции;

комплексный характер испытаний продукции по широкому перечню показателей, включенных как в систему обязательной, так и добровольной сертификации;

оказание консалтинговых и инженеринговых услуг заказчику с привлечением специалистов высшей квалификации;

информация в технической периодике о продукции, успешно прошедшей сертификационные испытания;

полная конфиденциальность в случае несоответствия испытываемой продукции требованиям стандартов;

разработка по желанию заказчика бумажной и компьютерной поддержки, позволяющей покупателю продукции квалифицированно ее выбрать, установить и эксплуатировать.

В настоящее время идет подготовка документов лаборатории, а к моменту выхода статьи мы надеемся получить статус аккредитованной испытательной лаборатории. Однако уже сегодня у нас могут быть проведены следующие виды испытаний на аттестованном оборудовании:

все виды функциональных испытаний двигателей и комплектов приводов на мощности от 1 до 10 кВт;

испытания на соответствия требованиям безопасности двигателей и трансформаторов на мощности от 0,1 до 10 кВт;

испытания тепло (до +150°C) — холод (до -50°C) — влажность (30—90%) любой электротехнической продукции;

вибрационные испытания с параметрами 5—5000 Гц, максимальная скорость 100 мс/с любой продукции массой до 100 кг.

Мы надеемся, что наша совместная с производителями деятельность будет способствовать обеспечению качественной продукцией Российского рынка и откроет для нее ворота зарубежных рынков.

УДК 62-83:681.325.1

ИЗМЕРЕНИЕ ОШИБОК РЕГУЛИРОВАНИЯ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Г.Б.ОНИЩЕНКО, П.С.СЕРГЕЕВ

Московский государственный открытый университет

Современные системы микропроцессорного управления электроприводом с импульсными датчиками скорости имеют недостаток, связанный с ограничением диапазона измеряемых скоростей из-за необходимости деления на малые величины в известном соотношении $T_n = S/\omega$, где ω — скорость вращения вала; T_n — время измерения; S — путь за время измерения. Как видно из этого выражения, если путь $S = \text{const}$, что свойственно импульсным датчикам скорости, то при малых скоростях $T_n \rightarrow \infty$ и напротив при $\omega \rightarrow \infty$ $T_n \rightarrow 0$. Иначе, при измерении времени прохождения двух сосед-

них меток импульсного датчика через фиксированную границу (Т-метод) точность и разрешающая способность падают с уменьшением скорости.

При анализе методов измерения рассмотрены две взаимосвязанные задачи: первая — найти наиболее рациональный метод измерения с точки зрения определения наибольшего допустимого времени измерения, определяемого требуемым качеством переходных процессов в электроприводе; вторая — обеспечить возможность программно корректировать способ измерения в соответствии с конкретны-

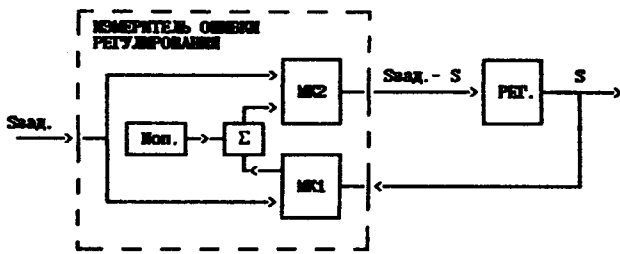


Рис. 1. Структурная схема контура регулирования с использованием измерителя

ми технологическими требованиями, предъявленными к электроприводу. В результате проведенных исследований разработаны способ и устройство для цифрового измерения ошибок регулирования параметров микропроцессорной системы управления электроприводом с импульсными датчиками, позволяющие получить заданную точность и разрешающую способность в любом диапазоне регулирования при оптимальном времени измерения.

В основу разработки положен Т-метод измерения¹. Для системы управления электроприводом важны не абсолютные значения регулируемых параметров, а их отклонения от заданных. Предлагается производить непосредственно аппаратное измерение ошибок регулирования. Время измерения задается программно равным периоду дискретизации микропроцессорной системы управления. Задание вводится в контур регулирования параметрически, посредством синхронного изменения масштабных коэффициентов в прямой и обратной ветвях контура регулирования, а также заданием опорного кода на входе сумматора (рис. 1). При ошибке регулирования, равной нулю, время измерения неизменно во всем диапазоне регулирования. Отклонение времени измерения от заданного определяет ошибку регулирования. На рис. 2 представлена функциональная схема устройства.

Ошибка регулирования вычисляется посредством вычитания из опорного кода импульсов, поступающих с тактового генератора 5 через масштабирующий делитель 10 в течение времени, определяемого пересечением фиксированной границы заданным количеством меток датчика, которое, в свою очередь, вводится посредством масштабирующего делителя 4.

Масштабирующие делители 4, 10, а также сумматор 6 реализованы на программируемых таймерах. Если время измерения находится в заданных пределах, то по сигналу на выходе масштабирующего делителя 4 в цепи импульсного датчика процессор запрашивает ошибку регулирования из регистра сумматора 6, иначе значению ошибки присваивается максимальное значение.

Рассмотрим сущность предложенного решения аналитически. Выразим путь через параметры датчика

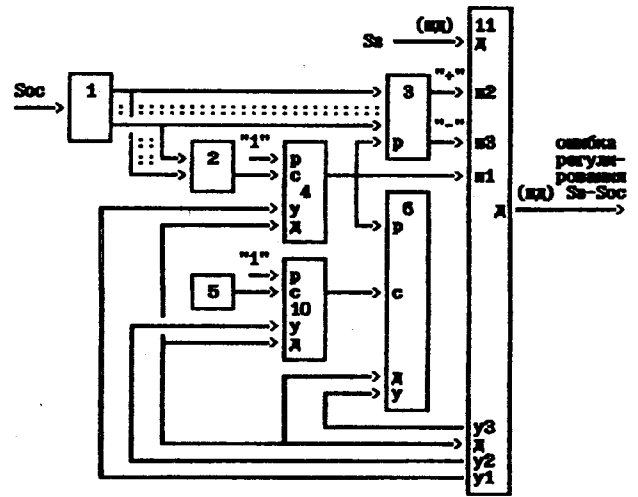


Рис. 2. Функциональная схема измерителя ошибки регулирования

$$S = N_{д.и} / Z_{д.и}, \quad (1)$$

где $N_{д.и}$ — число подсчитанных меток датчика за время измерения; $Z_{д.и}$ — число меток на оборот датчика.

Время измерения при Т-методе

$$T_{и} = \tau_{э} N_t N_{д.и}, \quad (2)$$

где $\tau_{э}$, N_t — длительность и число импульсов генератора эталонной частоты за время измерения одного интервала повторения импульсов датчика.

Ошибка регулирования скорости

$$\Delta\omega = \omega_3 - \omega = S/T_{и.о} - S/T_{и}, \quad (3)$$

где $T_{и.о}$ — опорное значение времени измерения.

Подставив (1) и (2) в (3), получим выражение для ошибки на фиксированной скорости:

$$\Delta\omega = (N_t - N_{t.о}) / Z_{д.и} \tau_{э} N_t N_{и.о}, \quad (4)$$

где $N_{и.о}$ — опорное число импульсов генератора эталонной частоты за время измерения одного интервала повторения импульсов датчика.

Ошибка регулирования периода

$$\Delta T = T_{и.з} - T_{и},$$

где $T_{и.з}$ — задание на период измерения; $T_{и}$ — фактическое значение периода.

Аналогично ошибка на фиксированном периоде:

$$\Delta T = \tau_{э} N_{и.о} N_{д.и} - \tau_{э} N_t N_{д.и} = \tau_{э} N_{д.и} (N_{и.о} - N_t)$$

Из приведенных выражений можно сделать вывод, что вводить задание в контур регулирования посредством изменения $N_{и.о}$ нецелесообразно из-за влияния этого параметра на точность и разрешающую способность цифрового измерителя. Эта проблема решается введением задания параметрически (рис. 1).

Выражение для ошибки в случае параметрического задания скорости

$$\Delta\omega = K_1 (N_t - N_{т.о}) / Z_{д.и} K_2 \tau_{э} N_t N_{и.о},$$

¹Измерение скорости в микропроцессорных электроприводах с импульсным датчиком /А.В.Бирюков и др.//Автоматизированный электропривод. М.: Энергоатомиздат, 1990.

где K_1, K_2 — масштабные коэффициенты в цепи импульсного датчика и в цепи генератора эталонной частоты соответственно.

Аналогично для ошибки в случае параметрического задания периода

$$\Delta T = N_{д.и} K_{2T_3} (N_{i_0} - N_i) / K_1.$$

Для обеспечения постоянного коэффициента передачи в контуре регулирования поддерживается равенство

$$K_1 = K_2.$$

К недостаткам предлагаемого способа следует отнести влияние погрешности определения времени измерения, а также зависимость дискретнос-

ти регулирования от дискретности разметки импульсного датчика и периода дискретизации системы регулирования

$$\omega_{\min} = \pi / n z_{д.и} T_{и \max},$$

где n — число каналов импульсного датчика.

В общем случае устройство измерителя позволяет менять как соотношение коэффициентов K_1 и K_2 , так и опорное число импульсов генератора эталонной частоты за время измерения одного интервала повторения импульсов датчика $N_{ю}$, что дает возможность в дискретных системах автоматического управления программно изменять период измерения, вес младшего разряда ошибки регулирования и коэффициент усиления в реальном масштабе времени.

УДК 62-83-529

КОМПЬЮТЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕСОВОГО ДОЗИРОВАНИЯ

В.М.ВОДОВОЗОВ, Л.Н.РАССУДОВ, Е.А.ЦВЕТИКОВ

С-ПГЭТУ

В производстве строительных материалов, в химической, комбикормовой и пищевой промышленности расширяется внедрение процессов непрерывного весового дозирования.

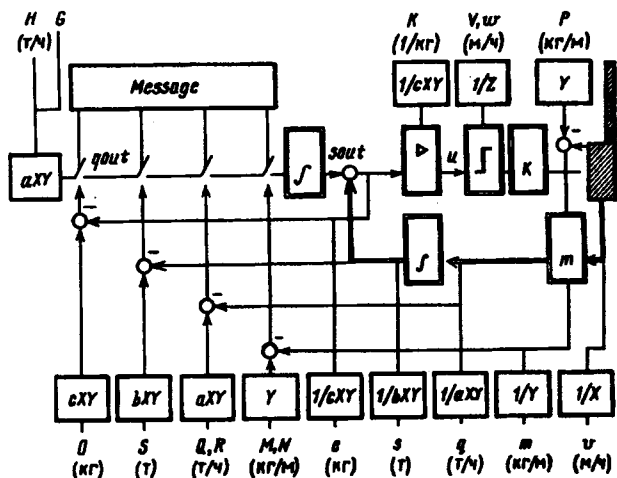
Основные особенности рассматриваемой новой системы — улучшенные показатели надежности комплекса, большая информационная емкость и высокая оперативность управления — достигнуты благодаря выбору оригинальной структуры и ориентации на микропроцессорную элементную базу. Система комплексной автоматизации непрерывного весового дозирования СКАН 8 представляет собой диалоговый иерархический комплекс с ЭВМ IBM PC/AT на верхнем уровне, тремя программируемыми контроллерами ОРИОН 4Р на среднем уровне, каждый из которых осуществляет управление электрооборудованием и пускорегули-

рующей аппаратурой пяти дозаторов нижнего уровня. Система обеспечивает как взаимосвязанное, так и раздельное управление от одной ЭВМ пятнадцатью объектами смесеприготовления, в том числе — от одной до трех линий дозирования.

Схема управления дозированием приведена на рисунке.

В процессе работы комплекса параметры производительности дозатора — нагрузка M и скорость V ленты дозатора преобразуются в электрические сигналы напряжения при помощи преобразователя сигнала тензодатчика Y и тиристорного преобразователя с коэффициентом передачи $1/Z$. Фактическая производительность дозатора определяется программными средствами ЭВМ как произведение кодов нагрузки и скорости ленты: $q = mv$, а выработка — интеграл от производительности: $s = \int qdt$.

Код фактической выработки сравнивается с кодом заданной выработки $sout$. Ошибка регулирования $e = sout - s$ преобразуется в код задания скорости электропривода: $u = k_{reg} e$, где k_{reg} — коэффициент усиления регулятора. Сигнал u используется для управления электродвигателем с помощью тиристорного преобразователя с нелинейным коэффициентом передачи K . При этом любые колебания нагрузки компенсируются изменением скорости так, чтобы выработка стремилась к заданной. Колебания скорости ленты, вызванные изменением питающего напряжения или нагрузки на валу электродвигателя, компенсируются внутренним контуром стабилизации скорости комплектного тиристорного электропривода. Из шкафа управления на объект и с объекта в шкаф управления выдаются также аварийные сигналы и сигналы о состоянии оборудования.



Между верхним и средним уровнями и между средним и нижним уровнями управления в ходе работы системы происходит обмен информацией. Обмен выполняется под управлением двух программ реального времени: программы контроллера ORION и программы ЭВМ RT.

Программа ORION хранится в контроллере. При загрузке ее производятся начальная установка и тестирование таймера, затем реализуется основной цикл программы, включающий тест цифроаналоговых и аналого-цифровых преобразователей, передачу данных на дискретные выходы, анализ сигналов дискретных входов, расчет периода оборота ленты, накопление аналоговой информации V , M и ее фильтрацию, а также проведение сеансов связи с ЭВМ.

Программой RT выполняется обработка таймерных прерываний ЭВМ, поступающих с интервалом 1 с. Каждый источник информации системы характеризуется своим коэффициентом передачи — масштабом скорости X , масштабом нагрузки Y и масштабом задания Z .

Кроме основных масштабов, в системе используются производные от них: масштаб производительности aXY , масштаб выработки bXY , масштаб ошибки cXY , где $a = 1000$ преобразует тонны в килограммы, $b = 1000-3600$ — тонны в час в килограммы в секунду, $c = 3600$ — часы в секунды.

Заданная оператором производительность H преобразуется в код $gout$. Если дозатор включен ($G = 1$), этот код интегрируется за период работы регулятора (1 с) и преобразуется в код заданной выработки $sout$. Ошибка регулирования преобразуется и ограничивается регулятором, затем поступает на электропривод. Поскольку фактические значения производительности и выработки дозатора недоступны для измерения, в системе реализован наблюдатель. В программном наблюдателе перемножаются коды фотодатчика и тензодатчика с учетом тарной нагрузки. Полученный таким образом код производительности q интегрируется за период работы регулятора для перехода к коду выработки s .

Пользователь может следить за процессом по экрану. Например, код скорости v делится в ЭВМ на масштаб скорости X и представляется на экране пользователю в виде числа v (м/ч) (аналогично и другие величины, таблица).

Коды	Масштаб	Число (единицы измерения)
скорости v	X	v (м/ч)
нагрузки m	Y	m (кг/м)
производительности q	aXY	q (т/ч)
выработки s	bXY	s (т)
ошибки e	cXY	e (кг)

Для организации управления процессом пользователю предоставляется возможность настройки системы. Изменение коэффициента усиления регулятора K (1/кг) сопровождается делением его в ЭВМ на масштаб ошибки cXY . Устанавли-

ваемые уровни ограничения скорости — максимальной V (м/ч) и минимальной W (м/ч) — делятся на масштаб электропривода Z . Тарная нагрузка P (кг/м), характеризующая давление ленты, умножается на масштаб нагрузки Y . Для защиты от перегрузки дозатора вводится значение вставки M (кг/м), которое после умножения в ЭВМ на масштаб нагрузки Y сравнивается с фактической нагрузкой S . Перегрузка ведет к отключению дозатора и выдаче на экран соответствующего сообщения. Аналогично регулируются минимальная нагрузка на ленте N (кг/м), максимальная и минимальная производительности Q , R (т/ч), выработка S (т) и ошибка регулирования O (кг).

Комплекс СКАН 8 реализует три режима управления дозированием: **системный**, **автономный** и **наладка**. Каждый из 15 дозаторов системы может находиться в одном из режимов.

Режим **системный** обеспечивает автоматическое регулирование производительности локальных систем дозаторов, объединенных в линии с целью выработки заданной массы продукта. Каждая линия формируется пользователем из числа дозаторов, не занятых в режимах **автономный**, **наладка** или в других линиях. В линию может входить от двух до пятнадцати дозаторов. Формирование линий и распределение задач между дозаторами, входящими в линии, выполняется с учетом программы работ, наличия компонентов и оборудования, схемы подключения дозаторов к контроллерам. Запуск дозаторов линии в работу и их останов производятся в последовательности, определяемой технологическим процессом. Работа линии может быть прервана вручную или автоматически, причем в последнем случае выдается аварийное сообщение на экран.

Автономный режим предназначен для управления отдельными дозаторами в ходе апробирования новых рецептов, механизмов после ремонта или аварийных отключений, при выборе и корректировке атрибутов, настройке узлов и технологического процесса. В автономный режим могут быть введены от одного до 15 дозаторов из числа агрегатов, не занятых в режимах **системный** и **наладка**.

Режим **наладка** предназначен для проверки, настройки и испытания элементов комплекса: ЭВМ, контроллеров, оборудования шкафов управления и оборудования объекта управления. В режим **наладка** выводится один из дозаторов. В ходе наладки возможны запуск тестов и выполнение необходимых операций, связанных с подключением оборудования, приборов и источников сигналов. В этом же режиме выполняются опробование и наладка шкафов управления и механизмов отдельных дозаторов без участия ЭВМ и контроллеров. При этом пуск и остановка оборудования осуществляются кнопками, расположенными на панелях шкафов управления и в производственных помещениях.

Управление комплексом осуществляется пользователем с пульта управления, выполненно-

го на базе ЭВМ IBM PC/AT. Задачи автоматизированного управления инициализируются с помощью меню на экране ЭВМ и клавиатуры ("мышь", "джойстика").

Меню организовано подобно книге. На первых трех его страницах отображается состояние линии предварительного дозирования, линии главного дозирования и дозаторов, работающих автономно. Пятнадцать последующих страниц предназначены для программирования отдельных дозаторов, столько же страниц отведено на проведение наладки дозаторов. Специальные экранные формы посвящены решению сервисных задач. Страницы различаются цветом фона, но имеют единый формат. В поле заголовка каждой из них помещаются названия рассматриваемых средств (линий или дозаторов) с указанием режима работы. Поле комментариев подсказывает персоналу возможные действия в каждой конкретной ситуации. В поле логического управления изображены световые клавиши: **пуск**, **ввод** и **отмена редакции**, **стоп**. Ос-

новную же часть экрана занимает поле атрибутов, отражающих состояние элементов системы.

Система СКАН 8 смонтирована и прошла испытания на участке многокомпонентного весового дозирования. В ходе испытаний были осуществлены взаимосвязанное управление пятнадцатью дозаторами и заводским транспортом в составе двух линий; линии предварительного и линии главного дозирования; автоматизированное изменение конфигурации системы пользователем; проверена возможность работы дозаторов в различных режимах: системном, автономном или наладочном; реализовано адаптивное регулирование производительности с точностью дозирования не ниже 0,5%; проведен автоматический контроль скорости, нагрузки, производительности, выработки, ошибок; испытаны средства защиты от аварийных ситуаций; настроена система автоматической коррекции нелинейностей преобразователей мощности и информации; отработана автоматизированная методика поверки и настройки аппаратуры.

НОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ И РАЗРАБОТКИ

РАЗРАБОТКИ КАФЕДРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЭИ

Научно-исследовательский отдел кафедры АЭП МЭИ, наряду с традиционными разработками и исследованиями средств и систем электропривода, приступил в последние годы к созданию прикладного программного продукта в этой области.

Ниже приводятся краткие аннотации ряда законченных компьютерных программ, входящих в общий пакет "Массовый электропривод", а также сведения о полностью компьютеризированном испытательном стенде.

Подробную информацию о разработках кафедры АЭП МЭИ можно получать по адресу:

105835 ГСП, Москва Е-250,

Красноказарменная ул., д.14

МЭИ, кафедра "Автоматизированного электропривода"

Факс: 0097 (095) 362-89-38

Тел.: 0097 (095) 273-09-89

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА "ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫЕ АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ"

С.И.ЖАРНИКОВ, Е.Е.МОИСЕЕВА, Ю.И.ПРУДНИКОВА, Н.В.СИДОРОВ

Программа "Общепромышленные асинхронные двигатели" (ОАД) версия 1.0 обобщает результаты детальных исследований отрезка серии АИС (80—160 мм, двух- и четырехполюсные; 0,55 — 18,5 кВт).

Программа содержит полный электронный каталог отрезка серии АИС, внекаталожную базу данных, процедуру выбора двигателей. Она организована в форме экспертной системы с развитым пользовательским интерфейсом и возможностью получить ответы на многочисленные вопросы "что-если" и предназначена для поддержки проектной работы, рациональной эксплуатации электроприводов с двигателями АИС, коммерческой деятельности в этой сфере.

В программе ОАД 1.0 учтен опыт разработки ряда версий программы IMOFA MOTOR SELECTION (IMS) V.1.0—3.1, выполненной авторами в 1991—1993 гг. по заказу фирмы "ИМОФА" (Голландия, Германия, Англия, Ирландия).

Программа ОАД 1.0 состоит из четырех больших разделов.

Первый раздел "Общая информация" содержит сведения о двигателях АИС — стандарты, обозначения, материалы, схемы включения обмоток, требования к условиям работы и т.п.

Второй раздел "Технические данные" включает детальные сведения о каждом типоразмере и ответы на вопросы "что-если"; чертежи двигателей в различных исполнениях, важнейшие технические данные, механические, электроме-

ханические, энергетические и тепловые характеристики для различных условий, диаграммы пуска двигателя разными способами при заданной нагрузке и т.п. Примеры экранов показаны на рис. 1.

Третий раздел "Выбор двигателя" позволяет найти для заданной нагрузочной диаграммы при известных свойствах питающей сети и условиях окружающей среды наиболее подходящий двигатель. Меню выбора показано на рис. 2.

Четвертый раздел "Проверка двигателя" дает возможность определить, правильно ли сделан выбор и хорошо ли используется известный двигатель в конкретном приводе, эксплуатирующемся при заданных условиях.

Результаты выбора и проверки сопровождаются необходимыми комментариями.

В программе ОАД 1.0 сохранен использованный в IMS 3.1 принцип построения, оправдавшие себя на практике структура IMS 3.1 и удобный пользовательский интерфейс. В отличие от IMS 3.1 программа ОАД 1.0 основана на универсальных моделях и охватывает двигатели различных форм, обладает большей гибкостью, позволяет легко изменять текстовые файлы, переходить на другой язык, исключать и добавлять информацию.

Программа выполнена в MS-DOS, доступна на английском и русском языках и ориентирована на использование как в профессиональных, так и в учебных целях.

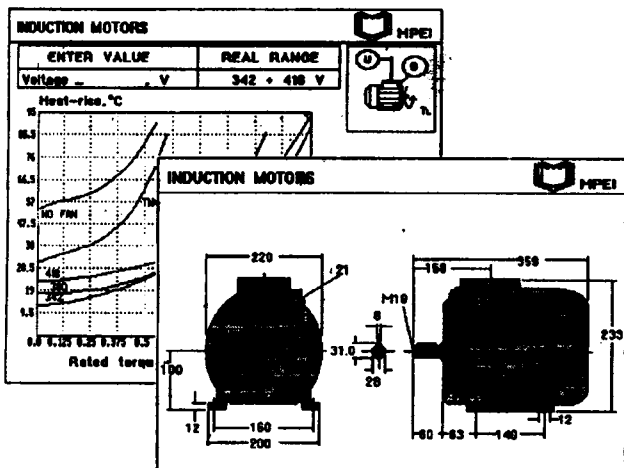


Рис. 1

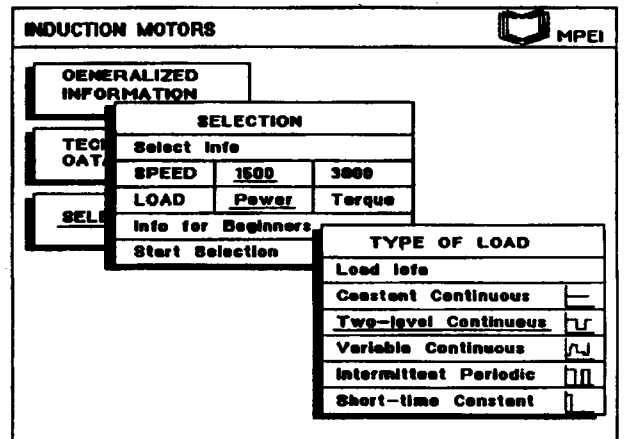


Рис. 2

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА "ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ"

С.И.ЖАРНИКОВ, Е.Е.МОИСЕЕВА, Ю.И.ПРУДНИКОВА, Н.В.СИДОРОВ

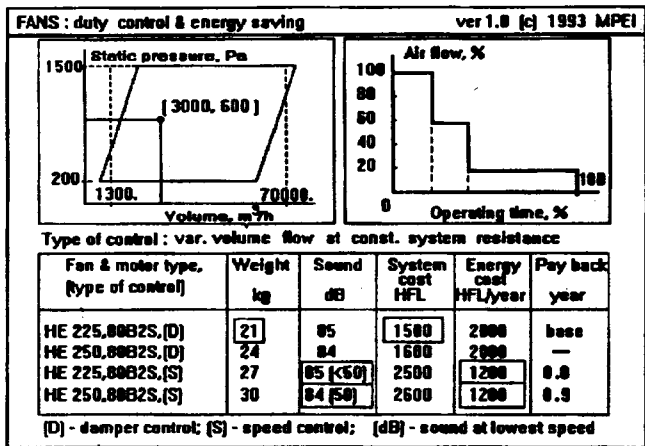
Программа "Центробежные вентиляторы. Режимы работы и экономия энергии" (ЦВ) версия 1.0 охватывает вентиляторы разных типов общего применения с диаметром колеса 200—1000 мм и позволяет для конкретных условий (давление и расход) и температуры окружающей среды выбрать оптимальные вентилятор и асинхронный двигатель серии АИС. Предпочтение

при прочих равных условиях отдается вентилятору с максимальным КПД и двигателю меньшей стоимости.

Отдельный раздел программы посвящен сопоставлению различных способов регулирования производительности — дросселированием и изменением скорости посредством преобразователя частоты. По заданным пользователем значениям времени работы системы за год, стоимости 1 кВт·ч электроэнергии, стоимости оборудования, диаграмме распределения производительности во времени (в процентах максимальной) и различным способам регулирования рассчитывается потребление электроэнергии за год и определяется срок окупаемости дополнительных расходов на оборудование.

Окончательный выбор варианта остается за пользователем, имеющим в своем распоряжении исчерпывающие сведения о сравниваемых вариантах, включающие массу и стоимость элементов, уровень шума и пр.

Программа выполнена в MS DOS, доступна на английском и русском языках и ориентирована на использование как в профессиональных, так и в учебных целях.



УДК 621.313.33:621.822:681.3.06

КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА "ПОДШИПНИКИ В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ"

М.Г.БЫЧКОВ, А.В.ПИМЕНОВ

Программа "Подшипники в асинхронных двигателях" (ПАД) версия 1.0 ориентирована на широкий круг специалистов, занимающихся проектированием и эксплуатацией электрических машин и электроприводов.

Назначение программы ПАД 1.0 — обоснованный выбор подшипников для конкретного электрического двигателя и оценка их срока службы при различных условиях эксплуатации двигателя в составе электропривода. Программа ПАД 1.0 относится к массовым асинхронным короткозамкнутым двигателям общепромышленного назначения с горизонтальным расположением вала, двух-, четырех- и шестиполюсным мощностью от 0,37 до 18,5 кВт (высота 80—160 мм). В этот класс машин входит производимая в СНГ единая серия АИ (АИС в экспортном исполнении), а также практически все европейские двигатели указанного типа, отвечающие стандарту DIN.

В версии 1.0 используются герметичные шариковые подшипники типов 2ZR, 2RSR фирмы

FAG, не требующие обслуживания в течение всего срока службы двигателя.

Программа может использоваться также для оценки в первом приближении характера и меры влияния различных факторов на срок службы в электродвигателях подшипников изготовителей. При заинтересованности фирм-производителей подшипников или двигателей их изделия могут быть представлены в следующих версиях программы.

Программа основана на результатах проведенных в МЭИ детальных экспериментальных исследований долговечности подшипников двигателей АИС с помощью стандартных приемов расчета, а также по методике FAG для оценки срока службы их смазки.

Главное меню программы включает четыре основных раздела: "Технические данные", "Выбор подшипников", "Проверка подшипников" и "Помощь".

Выбору подшипников предшествует диалог с пользователем, в процессе которого он сообщает

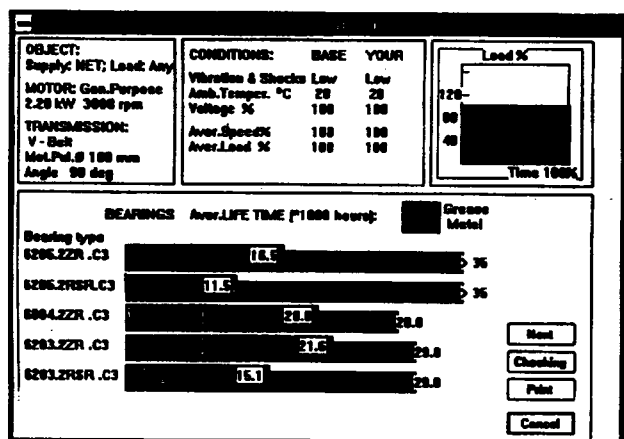


Рис. 1. Пример N 1 экрана по определению срока службы подшипников

параметры двигателя (высоту оси, полюсность, мощность), тип источника питания (сеть или преобразователь частоты), характер нагрузки (любая изменяющаяся или вентиляторная), тип передачи (муфта, ременная или зубчатая трансмиссия), в последних двух случаях — параметры передачи (диаметр малого шкива, геометрия). Используя введенную информацию, программа производит выбор из базы данных группы подшипников, которые могут применяться в данном двигателе при его работе в нормальных (базовых) условиях. Для каждого выбранного подшипника указывается его средний срок службы по смазке и металлу (рис. 1).

Все результаты в программе получены в предположении, что подшипниковый узел собран правильно. Для проверки этого условия в программе содержатся практически легко осуществимые указания. Для ременной трансмиссии даны специальные рекомендации для оценки правильности задания начального натяжения ремня.

Для оценки срока службы подшипников в программе используются как классические приемы, позволяющие определить стойкость металла,

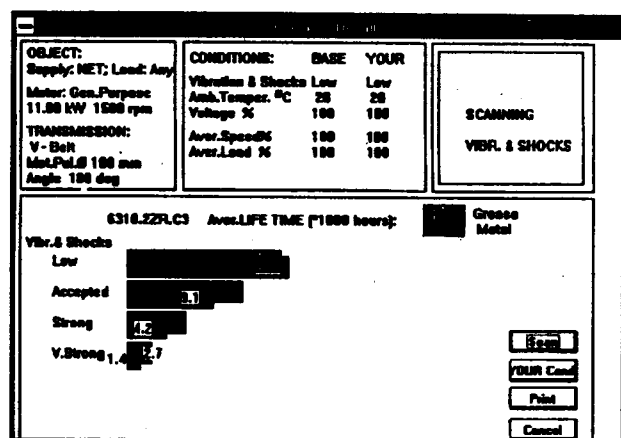


Рис. 2. Пример N 2 экрана по определению срока службы подшипников

так и современные методы, учитывающие влияние на долговечность смазки различных факторов, обусловленных специфическими режимами работы электрической машины.

Для подшипника, установленного в двигателе, программа позволяет оценить срок службы при известных мощности и скорости или при заданных диаграммах распределения этих величин во времени, при заданных уровнях вибрации, напряжения, температуры окружающей среды.

Пользователь, задав некоторый комплекс условий, может оценить влияние на срок службы подшипника любого из входящих в комплекс факторов при его изменении в широких пределах (рис. 2).

Программа позволяет избежать неудачных технических решений при проектировании электропривода, а также прогнозировать поведение подшипников в процессе его эксплуатации.

Разработанная версия программы ПАД 1.0 выполнена в MS Windows на английском языке, предусматривает возможность перевода на любой язык по требованию заказчика, может использоваться как в профессиональных, так и в учебных целях.

УДК 621.313.3.001.5

КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ И ПЕРЕДАЧ

М.Г.БЫЧКОВ, Д.В.СИДОРОВ, В.Н.КУЗНЕЦОВА

На кафедре автоматизированного электропривода МЭИ разработано и используется компьютеризированное испытательное оборудование, которое позволяет:

проводить полностью автоматизированные испытания асинхронных короткозамкнутых двигателей мощностью 0,5—4 кВт, 500—3000 об/мин, питаемых от стандартной сети или от любого преобразователя (поставляемого заказчиком);

испытывать любой двигатель указанного диапазона мощностей при ручном управлении;

испытывать вентиляторы, насосы, ременные передачи, коробки передач, гидравлические муфты и другие пассивные объекты в указанном диапазоне мощностей;

задавать (ошибка задания не более $\pm 0,1$ Н м) с помощью специального нагрузочного устройства любое значение момента на валу испытуемого

результатов, а также упрощение взаимодействия персонала с испытательным оборудованием.

Разработанное оборудование и программное обеспечение позволяют исследовать указанные объекты в статических и динамических режимах с возможностью обнаружения тонких эффектов (например, различных видов несимметрии, упругих колебаний в трансмиссии и т.д.).

В разработанной версии непосредственно измеряются напряжение трех фаз испытуемого двигателя, фазные токи, температура в различных точках испытуемого двигателя, напряжение, токи и скорость вращения нагрузочной машины.

По измеренным величинам вычисляются: мощность полная и активная, коэффициент мощности, момент на валу испытуемого объекта, коэффициент полезного действия и т.д.

Информация о результатах определения интегральных параметров пользователя электрических и механических величин может быть представлена на экране в полном или сокращенном виде, а также распечатана в графическом или текстовом форматах. Пример протокола испытаний показан на рис. 2.

На основе разработанного испытательного оборудования по заказу фирмы "ИМОФА" (Голландия, Англия, Германия, Ирландия) был создан стенд для испытания асинхронных двигателей мощностью 0,5—0,4 кВт. По индивидуальному заказу оборудование может быть адаптировано к различным требованиям в части мощностей и объектов испытаний, определяемым заказчиком.

МАЛОГАБАРИТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ОТ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА

А.П.БАЛКОВОЙ, В.Ф.КОЗАЧЕНКО, А.Л.КУДРЯШОВ

На кафедре автоматизированного электропривода Московского энергетического института в лаборатории дискретного электропривода разработана малогабаритная система прямого цифрового управления шаговыми двигателями от персонального компьютера типа IBM PC/XT/AT по параллельному принтерному интерфейсу типа Centronics с применением в качестве силовых преобразователей недорогих малогабаритных инверторов тока отечественного производства. Система управления предназначена для использования в манипуляторах, лабораторном, медицинском, измерительном оборудовании, в системах автоматизации экспериментальных исследований и технологических процессов.

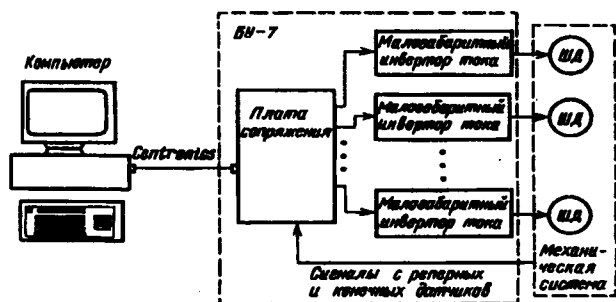
Блок-схема привода показана на рисунке. В качестве устройства управления верхнего уровня используется любой персональный компьютер, совместимый с IBM PC/XT/AT и соединенный с блоком управления двигателями по интерфейсу Centronics. В состав блока управления входят мо-

дуль источника питания, интерфейсная плата и инверторы тока по числу осей привода. Интерфейсная плата выполняет функции многоканального преобразователя координат и преобразует цифровое задание положения вектора тока для соответствующего двигателя в аналоговые сигналы задания токов фаз, поступающие на входы инверторов тока. Интерфейсная плата оснащена входами датчиков конечного положения и реперных датчиков, которыми могут комплектоваться оси привода.

Комплект программного обеспечения для IBM-PC/XT/AT работает в интерактивном режиме и позволяет в процессе диалога с пользователем задать программу позиционного управления несколькими осями в реальном времени. Поддерживается режим контурного управления двумя произвольными осями с линейкой или круговой интерполяцией.

Технические характеристики блока управления дискретным электроприводом БУ:

Максимальное число осей привода.....	6
Рекомендуемый тип двигателей.....	ДШИ-200-1,2,3
Максимальный ток фазы, А.....	2
Напряжение питания инвертора, В.....	42
Максимальный коэффициент дробления шага.....	32
Диапазон задания амплитуды тока относительно номинального значения.....	1;0,9;0,75;0,5
Частота управления в целых шагах, кГц.....	1
Максимальная частота управления в целых шагах, кГц.....	2
Рабочая скорость линейного перемещения при использовании механической передачи типа винт-гайка с шагом винта 4 мм, мм/с.....	10



Структурная схема многоосевого модуля управления шаговым электроприводом БУ-7

Телефоны для контактов: 362-71-51, 273-02-85.

ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ, ОТОБРАЖЕНИЯ И АНАЛИЗА ОСЦИЛЛОГРАММ РАБОТЫ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (ПС "ДИАГНОСТИКА")

Б.Я.АЗАРОВ, А.В.КАШИЦЫН, В.Н.ДАНИЛОВ

Программная среда "Диагностика" предназначена для использования в системах контроля за работой электроприводов и технологических объектов, сбора информации, аварийного контроля и т.п. Предполагается, что аппаратная часть таких систем включает ПЭВМ и микропроцессорное устройство сбора информации, которое обеспечивает съем сигналов с электроприводов и технологических объектов в реальном времени и передачу этой информации в ПЭВМ по последовательному каналу связи.

Основой программного обеспечения таких систем, их универсальной частью может стать разработанная на кафедре АЭП МЭИ программная среда "Диагностика".

Количество контролируемых системой сигналов, их разрядность и мнемоническое обозначение, дискретность съема информации с каждого из датчиков, масштаб и другая информация, характеризующая изучаемый объект, сохраняется в специальном файле — описателе хранимой информации. Если ПС "Диагностика" ориентирована на анализ работы нескольких объектов, то для каждого из них организуется свой файл-описатель хранимой информации. В этом случае ПС обеспечивает управление банком файлов-описателей хранимой информации.

В ПЭВМ каждая снятая "осциллограмма" сохраняется в виде информационного файла. ПС организует из собранных файлов банк информационных файлов и обеспечивает достаточно полное управление этим банком. При помощи каталожного принципа обеспечивается удобный поиск нужного информационного файла. Нужный процесс можно найти по дате его создания, по объекту, на котором проводился эксперимент, по специальным текстовым полям выбора.

Количество сигналов, снимаемых с объекта и соответственно хранимых в информационном файле, может быть достаточно велико и составлять несколько десятков. При отображении временных процессов на экране монитора в большинстве случаев будет нецелесообразно выводить на экран сразу все хранимые сигналы. Программная среда позволяет выбрать из полного набора

снятых сигналов нужные в данный момент для анализа, задать место их расположения на экране, задать масштаб, цвет их вывода на экран и т.д. (т.е. задать формат вывода). Для одного объекта (т.е. одного типа эксперимента, одного описателя хранимой информации) может быть сформировано значительное количество форматов вывода. Форматы вывода есть возможность сохранять в файлах-описателях выводимой информации. ПС организует их в виде банка форматов вывода, обеспечивая соответствующее управление этим банком (поиск нужного формата вывода, подключение вновь созданного формата, удаление формата вывода и т.п.).

Программная среда включает в себя широкий набор средств для анализа выбранного технологического процесса:

- возможность постраничного просмотра технологического процесса или выхода на любой его участок;

- измерение временных интервалов;

- временным курсором и временной меткой можно выбрать для более детального анализа участок технологического процесса; этот участок может быть развернут на весь экран, на нем может быть проведена стандартная статистическая обработка процесса (вычисление среднего и дисперсии, нахождение минимума и максимума и т.п.);

- для выбранного временным курсором момента времени можно получить абсолютные значения всех анализируемых сигналов;

- горизонтальный курсор позволяет контролировать уровни изучаемых сигналов.

Программная среда с точки зрения пользователя является открытой: можно подключить в среду дополнительные пункты меню, подключить файлы специальной статистической обработки процесса и т.п.

ПС "Диагностика" использовалась в системах контроля за работой электроприводов центральной части слябинга Карагандинского металлургического комбината и в системе текущего и аварийного контроля за работой электроприводов клетей листового стана Мариупольского комбината.

СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГЛАВНЫХ ПРИВОДОВ ЭКСКАВАТОРОВ-ДРАГЛАЙНОВ

В.Н.ОСТРИРОВ, Ю.Т.БУРЫКИН

МЭИ

Выполняемые функции:

- ввод исходных параметров проектируемой (исследуемой) машины (минимум 1-го, максимум 46-ти);
- расчет (доопределение) недостающих параметров конструкции и передаточных механизмов;
- выбор силовых схем главных электроприводов;
- расчет параметров всех единиц силового электрического и электромеханического оборудования приводов;
- выбор стандартного оборудования из встроенной базы данных;
- расчет систем управления электроприводами;
- синтез комплексной математической модели системы (электроприводы; передаточные механизмы; конструкции; процессы взаимодействия ковша с породой, управления экскаватором);
- исследование объекта в наладочных, специальных, рабочих, аварийных режимах, при произвольном управлении в интерактивном режиме;
- запись более 50 переменных, характеризующих процессы в конструкциях, механизмах, электроприводах, системах управления, энергетическом канале, с отображением их в произвольном наборе и масштабе;

варьирование всех исходных и ряда промежуточных параметров проектируемого (исследуемого) объекта;

оценка качества объекта в целом (параметры экскаватора и передаточных механизмов, система электропривода, комплектация электрооборудованием и т.д.) с позиции энергетической эффективности выполнения технологического процесса;

автоматическая оптимизация основных параметров экскаваторов (ковш/стрела) и передаточных отношений механизмов;

экспертиза новых проектов, а также выпускаемых промышленностью экскаваторов;

подбор оптимальных параметров ковшей под известные горно-технологические условия работы экскаватора;

сопоставление машин по ряду показателей качества;

архивирование данных о проектируемых (исследуемых) машинах; документирование результатов проектирования (исследования);

пополнение и редактирование банка данных на силовое оборудование главных электроприводов.

Ожидаемые технико-экономические показатели применения.

Показатели качества (эффективности) экскаваторов от оптимизации параметров электромеханических систем приводов и конструкции машин улучшатся на 10-20% за счет роста паспортной производительности, уменьшения удельного расхода электроэнергии, снижения установленной мощности силового электрооборудования и др.

На рис. 1, 2 для примера приведены копии эк-

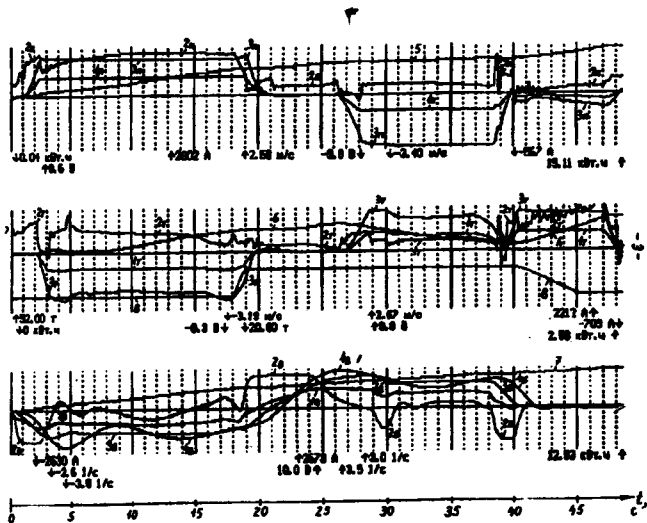


Рис. 1. "Осциллограммы" цикла экскавации ЭШ-20/65:
 кривые 1n, 1t, 1v — задания напряжений генераторов подъема, тяги, поворота (В); 2n, 2t, 2v — токи якорей приводов (А); 3n, 3t — скорости лебедок подъема, тяги (м/с); 3в, 4в — угловые скорости платформы, ковша (1/с); 5 — энергия, потребляемая из сети (кВт·ч); 6 — полезная энергия (кВт·ч); 7 — суммарная энергия потерь (кВт·ч); 8 — масса ковша и породы (т)

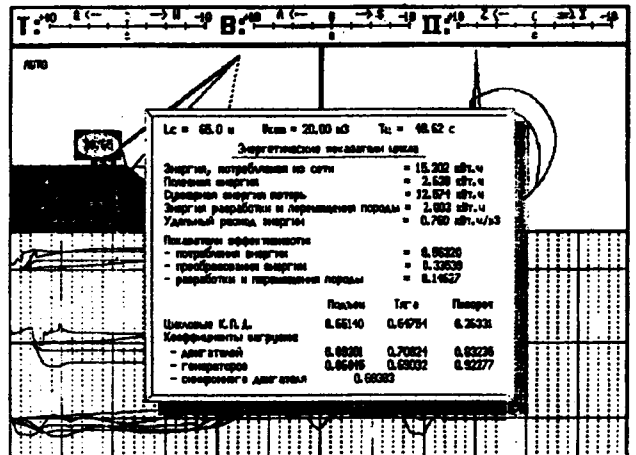


Рис. 2. Итоговые характеристики цикла экскавации

ранов, полученные на DragCAD при исследовании экскаватора-драглайна ЭШ-20/65 (20 м³ — емкость ковша, 65 м — длина стрелы) в типовом цикле экскавации.

Конечный пользователь:

инженер-конструктор по электроприводу и автоматизации, по механизмам и конструкциям;

инженер-разработчик, исследователь систем управления электроприводами и систем автоматизации;

главный специалист горнодобывающего предприятия;

студент вуза, учащийся техникума.

Стадия развития

Завершена разработка версии для электроприводов по системе генератор-двигатель.

На стадии завершения разработка версии для электроприводов тиристорный преобразователь — двигатель.

В разработке находится версия для электроприводов переменного тока.

В плане:

разработка версии для экскаваторов типа "механическая лопата"; разработка версии с блоками пользователей для создания систем управления электроприводами и автоматизации технологических процессов.

По вопросам приобретения продукта, сотрудничества обращаться на кафедру АЭП МЭИ — лицо для контакта Остриров Вадим Николаевич, канд.техн.наук, доцент, раб. телефон 362-75-43.

РАЗРАБОТКИ НПО "ЭЛЕКТРОПРИВОД"

НОВАЯ СЕРИЯ СВЕТОСИГНАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ТИПА АСФ, ТСФ

А.М.ФЕДОРОВ

НПО "Электропривод" разработал новую серию светосигнальной арматуры, предназначенной для работы в электрических цепях напряжением от 6 до 380 В постоянного тока и переменного частотой 50 и 60 Гц.

Новая серия по своему назначению и техническим параметрам заменяет светосигнальную арматуру типов АС, АСС, АСЛ, АЕ, АМЕ и световые табло типа ТСКЛ, ранее выпускаемые тби-

лиским ПО "Электроаппарат" по ТУ16-535.681-76 (тип АСЛ), ТУ16-535582-76 (типы АЕ, АМЕ), ТУ16-535.930-76 (тип АС), ТУ16-535.492 (ТСКЛ) (рис. 1, 2).

В качестве источников света в новой арматуре используются малогабаритные бесцокольные люминисцентные индикаторы на напряжение питания 127, 220, 380 В переменного тока и 220 и 380 В постоянного тока; полупроводниковые индикаторы (светоизлучающие диоды) и бесцокольные малогабаритные лампы накаливания — на напряжения от 6 до 110 В.

Технические решения, принятые при разработке арматуры, позволили все исполнения выполнить конструктивно объединенными в единый размерный модуль, значительно улучшить конструктивно-технологические и эксплуатационные показатели новой серии.

Арматуры имеют единый размерный модуль, равный международному стандарту, 25 мм. Общее оформление внешнего вида всех исполнений арматуры и единый размерный модуль дают возможность устанавливать ее в общие ряды, не нарушают целостности и эстетичности панели управления устройства.

Арматура обслуживается только с одной, внутренней стороны, т.е. арматура предохранена от несанкционированного демонтажа. Прямоугольная форма колпачка соответствует и гармонирует с формами других информационных аппаратов, устанавливаемых на панелях управления (показывающие и измерительные приборы, ключи управления и т.д.).

Использование люминисцентных и полупроводниковых индикаторов, миниатюрных ламп на-

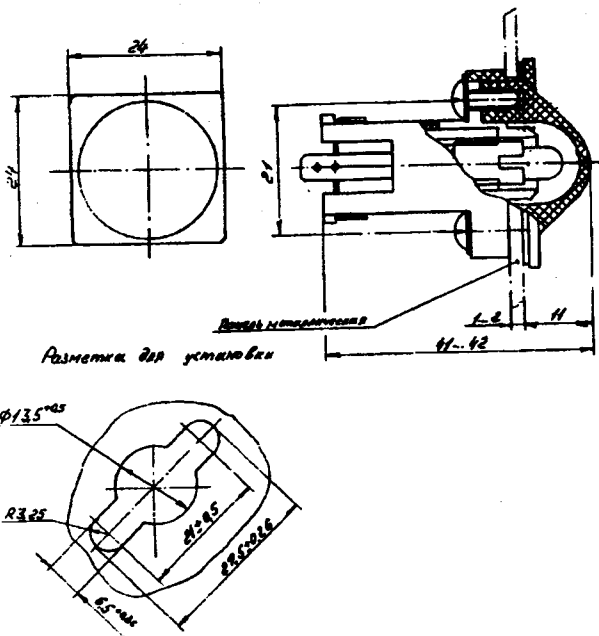


Рис. 1. Габаритные, установочные, присоединительные размеры светосигнальной арматуры типа АСФ

калывания повышает экономичность их эксплуатации.

Полупроводниковые индикаторы обладают меньшей светоизлучающей способностью до 6 мкд (примерно в 3-4 раза ниже, чем у ламп накалывания КМ-6), но благодаря специальной конструкции колпачка, концентрирующего световой поток, этот недостаток несколько компенсируется. Полупроводниковые индикаторы имеют средний срок службы более 20 000 ч, что значительно превышает аналогичный показатель ламп накалывания.

Срок службы люминисцентных индикаторов 8000 ч.

Примененные в арматуре автомобильные лампы накалывания имеют высокие светоизлучающие характеристики (А12-1,2 — 8,4 лм; А24-1,2 — 9,3 лм),

что позволяет их использовать при питании пониженным напряжением на 6 и 9 В, а при питающем напряжении более 9 В в арматуру устанавливается добавочный резистор для понижения напряжения на лампе на 10% номинального. Такое решение значительно увеличивает их срок службы.

Описание конструкции. Габариты: по фронту с лицевой стороны 24×24 мм, длина общая не более 45 мм, во внутрь устройства — 35 мм.

Арматура подключается к питающей цепи через добавочный резистор, встроенный в арматуру.

В арматуру на напряжения 127 В и выше встраивается индикатор тлеющего разряда типа ТЛ-1-2 по ОДО.337.13.ТУ одного из следующих цветов свечения: оранжевого, зеленого, желтого.

СТРУКТУРА УСЛОВНОГО ОБОЗНАЧЕНИЯ ТИПОИСПОЛНЕНИЙ АРМАТУРЫ

АСФ или ТСФ - XX - X X X X XX

Тип арматуры:

арматура сигнальная,
табло

Напряжение питания:

1-6В
2-9В
3-12В
4-24В
5-36В
6-48В
7-110В
8-127В
9-220В (230,240В)
10-380В (400,415,440В)

Вид рода тока:

1-переменный частотой
50Гц,60Гц
2-постоянный
3-переменный и постоянный

Цвет свечения:

1-красный (оранжевый)
2-синий (голубой)
3-зеленый
4-желтый
5-прозрачный

Вид светового излучателя:

1-полупроводниковый
2-люминисцентный
3-накалывания

Степень защиты:

1-IP41
2-IP54

Климатическое исполнение и категория размещения У2, Т2

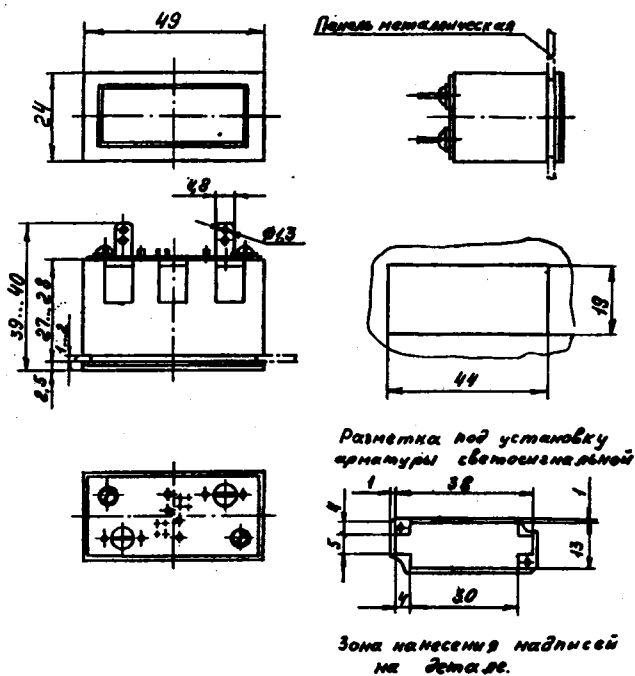


Рис. 2. Габаритные присоединительные размеры светосигнальной арматуры типа ТСФ

В арматуру на полупроводниковых индикаторах на печатной плате вплаивается светодиод АЛ307 с цветами свечения: красный, зеленый, желтый. Это исполнение арматуры предназначено для питающих напряжений: 6, 9, 12, 24, 36, 488 В постоянного и переменного тока и дополнительно на постоянное напряжение 110 В.

В арматуре на лампах накаливания используются

миниатюрные бесцокольные лампы на номинальное напряжение 12 и 24 В (тип А12-1,2 и А24-1,2). Колпачок имеет различные цвета окраски.

Крепление всех видов арматуры к панели устройства посредством двух самонарезающих винтов с внутренней стороны.

Арматура допускает присоединение пайкой двух медных проводников сечением 0,5 мм² или посредством плоских втычных соединителей шириной 4,8 мм по ГОСТ 25671-83.

Световой индикатор после сгорания можно заменить путем отпайки выводов.

Климатическое исполнение арматуры У2, Т2, ГОСТ 15150-69, механические воздействия по группе М7 ГОСТ 17516.1-90.

Степень защиты арматуры от попадания посторонних тел и от проникновения воды с лицевой стороны должна соответствовать ГОСТ 14255-69: без прокладки — 1Р41, с прокладкой — 1Р54.

Шаг установки арматуры на панели в соответствии со стандартами МЭК — 25 мм.

Арматура поставляется в комплекте со световым индикатором, добавочным резистором и двумя самонарезающими винтами.

Пример записи обозначения типоразмера арматуры светосигнальной серии АСФ с лампой накаливания на напряжение питания 12 В постоянного и переменного тока с красным колпачком, со степенью защиты с внешней стороны 1Р54, климатическое исполнение и категория размещения У2, для внутренних поставок.

Арматура АСФ-3-3132У2 ЕИЛА.676641.ХХХТУ.

То же для экспортных поставок: арматура АСФ-3-3132У. Экспорт ЕИЛА.676641.ХХХТУ.

НОВАЯ СЕРИЯ КНОПОК КОМАНДНЫХ ТИПА ККФ

А.М. ФЕДОРОВ

Тверской завод электроаппаратуры готовит к производству новую серию кнопок командных, предназначенных для работы в электрических цепях напряжением до 30 В постоянного тока и до 250 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц.

Кнопки изготавливаются в климатическом исполнении УХЛ3 и В4 по ГОСТ 15150-69. Внешние механические воздействия по группе М7 (ГОСТ 17516.1-90 и ГОСТ 25467-82).

Степень защиты кнопок от попадания посторонних тел и от проникновения воды с лицевой стороны — 1Р54, со стороны электро монтажа (внутренней) — 1Р00.

Окружающая среда невзрывоопасная, не содержащая токопроводящей пыли, агрессивных паров и газов в концентрациях, снижающих параметры кнопок. Тип атмосферы II по ГОСТ 15150-69.

Высота над уровнем моря — не более 2000 м.

Рабочее положение в пространстве — любое.

Кнопки имеют единый размерный модуль, равный международному стандарту 25 мм. Толщина панели, на которую устанавливается арматура 1-2 мм. Оформление внешнего вида кнопок и единый размерный модуль дают возможность устанавливать их в общие ряды, не нарушая целостности и эстетичности панели управления устройства.

Кнопки обслуживаются с внутренней стороны. Прямоугольная форма толкателя соответствует и гармонирует с формами других информационных аппаратов, устанавливаемых на панелях управления (показывающие и измерительные приборы, ключи управления и т.д.).

В кнопках командных ККФ в качестве основной составной части используются кнопки малогабаритные КМ (АГО.360.203ТУ).

Интенсивность отказов кнопок, в соответствии с требованиями к кнопкам КМ в течение наработки 1000 ч, не должна превышать 0,1 — 10 1/ч при доверительной вероятности, равной 0,6.

Гарантийная наработка — 10 ч в пределах гарантийного срока. Гарантийный срок — 12 лет с даты изготовления.

Описание конструкции

Габариты: по фронту с лицевой стороны 24×24 мм, длина общая — не более 36 мм, во внутрь устройства — не более 25 мм.

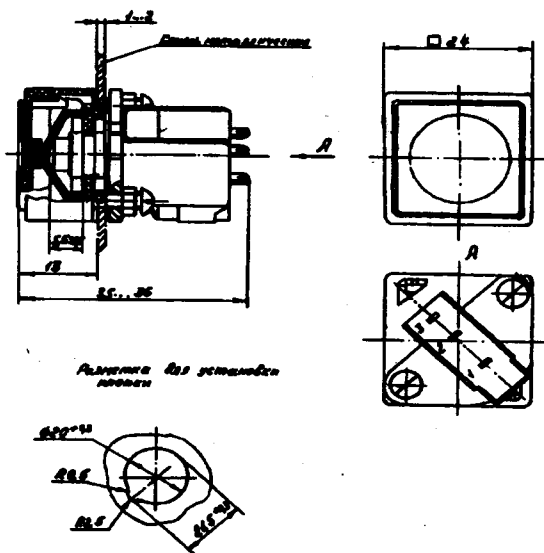
Кнопки конструктивно выполняются в однополюсном и двухполюсном вариантах.

Масса однополюсных кнопок — не более 24 г, двухполюсных — не более 27 г.

Присоединение к каждому выводу осуществляется посредством двух медных проводников сечением до 0,05 мм методом пайки.

Цвет толкателя может быть красным, голубым, зеленым, желтым, белым и черным.

В комплект поставки входят собственно кнопки, два винта, техническое описание и инструкция по эксплуатации.



Габаритные размеры кнопки командной ККФ

Структура условного обозначения типового исполнения кнопки

ККФ - X X - XX X - XX

Обозначение типа кнопки

Наличие арретира:
А - наличие

Применимость:
1-однополюсный;
2-двухполюсный

Тип микропереключателя: I или IV

Цвет толкателя:
1-красный
2-голубой
3-зеленый
4-желтый
5-белый
6-черный

Климатическое исполнение и категория размещения:
отсутствие знака - УХЛ3;
В4

Пример условного обозначения кнопки ККФ однополюсной с арретиром, тип микропереключателя IV, цвет толкателя — красный, в исполнении В4 : Кнопка командная ККФ-А1-IV 1-В4.....ТУ

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА ТИПА ЭПНМ

Е.Л.БРАГИЛЕВСКИЙ, А.В.ИВАНОВ

Электропривод постоянного тока ЭПНМ неререверсивный, маломощный предназначен для поддержания заданной скорости движения (вращения) механизмов.

Привод имеет следующие технические характеристики:

Напряжение питания (однофазная сеть переменного тока частотой 50 Гц), В.....	220
Режим работы.....	Длительный
Регулирование скорости.....	Бесступенчатое
Номинальное выходное напряжение тиристорного преобразователя (номинальное напряжение питания двигателя), В.....	24
Номинальный ток транзисторного преобразователя, А.....	5
Максимальный пусковой ток, А.....	8
Диапазон регулирования скорости с обратной связью по ЭДС.....	1:15
Неравномерность скорости на нижнем пределе, %.....	15
Диапазон регулирования скорости с обратной связью по скорости.....	1:50
Неравномерность скорости на нижнем пределе, %.....	15
Токоограничение.....	Имеется
Срок службы привода, не менее, лет.....	10
Высота над уровнем моря, м.....	1500
Степень защиты платы питания и ячейки транзисторного преобразователя IР00 по ГОСТ 14254-80	

Привод предназначен для эксплуатации в районах с умеренным климатом, что соответствует исполнению УХЛ4 категории 4 по ГОСТ 15150-69 при температуре окружающей среды от +5 до +35°C и относительной влажности окружающей среды не более 65% при температуре окружающей среды 20°C.

В состав изделия входят:

Трансформатор ОСМ-1-025-220/24.

Плата питания на 10 А (или плата питания на 5 А).

Ячейка транзисторного преобразователя.

Регулятор скорости.

Комплект ЗИП.

Техническое описание.

Габаритные размеры ячейки транзисторного преобразователя 220×100×60 мм. Габаритные размеры платы питания на 5 А — 120×100×40мм.

Габаритные размеры платы питания на 10 А — 220×100×45мм.

Разработчик и изготовитель НПО "Электропривод"

Контактный телефон 208-18-64.

БЕСКОНТАКТНЫЕ ПУСКАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА БАЗЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ТЕХНИКИ

Е.Л.БРАГИЛЕВСКИЙ, В.А.ГОФМАН

НИИ Электропривод разработал серию бесконтактных пускателей (реверсивных и нереверсивных), предназначенных для использования в отраслях с тяжелыми условиями работы, на токи 4 — 160 А.

Пускатели выполнены на современной элементной базе, компактны, удобны в эксплуатации, имеют различные конструктивные исполнения как для встраивания в шкаф, так и для использования самостоятельно.

Бесконтактные пускатели

реверсивные и нереверсивные типа ПБР и ПБН

предназначены для управления асинхронными двигателями, для коммутации в цепях переменного тока.

Способны надежно работать:

- в запыленной среде
- при повышенной влажности
- в широком диапазоне температур
- при повышенной частоте коммутации

Особенности применения:

- высокая надежность
- отсутствие эксплуатационных расходов
- долговечность, безопасность искрения

Современная элементная база — тиристорные и оптоэлектронные модули, герконные реле.

Различные модификации:

- с прямым пуском
- с плавным пуском
- с динамическим торможением
- с тепловой защитой
- с интегральной защитой

Основные технические данные

Напряжение питания 50, 60 Гц, В.....	220, 380, 440
Число каналов коммутации.....	1, 2, 3
Номинальный ток.....	4, 10, 25, 63, 100, 160
Климатическое исполнение, °С.....	-40 — +45
Режим работы.....	Продолжительный повторно-кратковременный
Габариты, мм.....	150×150×50, 150×200×70, 300×300×100, 450×300×150, 500×600×200
Масса, кг.....	1,5, 3,0, 5,0, 12,5, 17,5, 25,0

Для проверки эффективности работы пускателей в Ваших устройствах готовы изготовить и поставить единичные образцы, сообщить Вам подробные технические данные.

Завод-изготовитель: УМЗ, Г.Ульяновск.

Разработчик: НИИ Электропривод, г. Москва.

Ваши предложения и запросы просим направлять по адресу:

107078: г.Москва, Садовая-Спаская ул., д. 1/2
НИИ Электропривод, Телефон (095) 208-18-64.

СПРАВОЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ

Вниманию руководителей организаций, специалистов!

Энергоатомиздат предлагает вышедшие книги по электротехнике, электроэнергетике, информационно-измерительной и вычислительной технике. Книги продаются по отпускной цене издательства.

С вопросами обращаться в редакции по тел.: 925-98-35, 925-94-22, 925-02-12, 925-93-50.

Книги, имеющиеся в продаже на складе издательства

1. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. Учебник для вузов, 1993. — 45 л.

2. Специальные электрические машины (источники и преобразователи энергии) Под ред. Б.Л.Алиевского. Учебное пособие для вузов. — 1993. — 40 л.

3. Проектирование электрических машин/ Под ред. И.П.Копылова. Учебник для вузов, 1993. — 50 л.

4. Воросколевский В.И., Пинигин Н.Я. Преобразователи напряжения в частоту и их применение в технике измерений и управления., 1994, — 6 л.

5. Хашимов А.А. Специальные режимы частотно-управляемых асинхронных электроприводов, 1994. — 12 л.

6. Ефименко Е.И. Новые методы исследования машин переменного тока и их приложения, 1993. — 18,5 л.

7. Долюк Р.П. Грозоупорность трансформаторов, 1993. — 7 л.

8. Багиев Г.Л., Златопольский А.Н. Организация, планирование и управление промышленной энергетикой. Учебник для вузов, 1993. — 16 л.

9. Справочник по монтажу электроустановок промышленных предприятий/Под ред. Ю.К.Юшкова и др., 1993. — 35 л.

10. Михайлов В.И., Тарнижевский М.В., Тимченко В.Ф. Режимы коммунально-бытового электропотребления. 1993. — 18 л.

11. Носов К.Б., Дворак Н.М. Способы и средства обеспечения самозапуска электродвигателей, 1993. — 9 л.

12. Сви П.М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения, 1993. — 16 л.

13. Елизаров Е.А., Лукин В.П. Наладка и эксплуатация электроприводов постоянного тока буровых установок, 1993 (Б-ка электромонтера). — 6 л.

14. Зильберман В.А. Релейная защита сети собственных нужд атомных электростанций, 1993. — 8 л.

15. Кузнецов А.П., Степанов Ю.А. Методы и средства проверки релейной защиты и автоматики в распределительных электросетях, 1993. (Б-ка электромонтера). — 6 л.

16. Соколов Р.И. Эксплуатация и ремонт электродвигателей с терморезистивной изоляцией, 1993 (Б-ка электромонтера). — 6 л.

17. Дьяков А.Ф., Морозкина М.В. Проблемы использования энергии волн, 1993. — 12 л.

18. Туманов И.М., Евстигнеева Т.А. Тиристорные установки для повышения качества электроэнергии, 1994. — 12 л.

19. Шуцкий В.И., Белоусин О.Н., Буралков А.А. Защитное отключение электроустановок потребителей, 1994. — 18 л.

20. Майборода Г.А. Устройство телемеханики УТМ-7 для систем управления в энергосистемах, 1994 (Б-ка электромонтера). — 5 л.

21. Зотов Б.К., Починюк П.Г. Справочник электромонтажника. Монтаж вторичных цепей электроустановок/ Под ред. А.Д.Смирнова, Б.А.Соколова, А.Н.Трифоновой, 1994. — 10 л.

22. Мясников В.А., Мелников Ю.Н., Абросимов Л.И. Методы автоматизированного проектирования систем телеобработки данных. Учебное пособие для вузов, 1992. — 20 л.

23. Чипулис В.П., Шаршунов С.Г. Анализ и построение тестов цифровых программно-управляемых устройств, 1992. — 15 л.

24. Пузырев В.А. Самонастраивающиеся микропроцессорные регуляторы, 1992. — 14 л.

25. Низкотемпературные пирометры с тепловыми приемниками излучения/ Б.И.Фандеев, Б.В.Васильев, А.П.Бараненко, В.М.Горбачев, 1993. — 11 л.

26. Новопольский В.А., Работа с электронно-лучевым осциллографом, 1993. — 11 л.

27. Азимов Р.К., Азимов А. Тепловые преобразователи направления потока и расхода газов и жидкостей, 1993. — 6 л.

28. Лицаев В.В. Отладка сложных программ: Методы, средства, технология, 1993. — 25 л.

29. Волков В.Л., Рыжиков В.В. Метрологические и надежность характеристики датчиков: Методы оценивания, 1993. — 10 л.

30. Колесников А.А. Проектирование многокритериальных систем управления промышленными объектами, 1994. — 20 л.

31. Исаев И.Н., Созонов В.Г. Электропривод механизмов циклического действия, 1994. — 12 л.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ "АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ"

(Ю.А.БОРЦОВ, Г.Г.СОКОЛОВСКИЙ, 1992, 2-е издание)

В рецензируемой книге изложены вопросы теории и практики построения автоматизированных систем управления электроприводами с упругими связями и методы их исследования.

В последнее время все больше появляется технологий с высокими требованиями к быстродействию электропривода, когда упругие связи системы отрицательно влияют на работу установки, вызывая недопустимые колебания.

В книге с высокой степенью научной обоснованности рассмотрены вопросы влияния упругих элементов на работу электроприводов, приведены структуры и способы настройки систем подчиненного регулирования при наличии упругих звеньев. Одной из важных особенностей содержания рецензируемой книги является показ возможностей цифровой реализации, адаптации и идентификации электроприводов с упругими звеньями. Значительный интерес представляют главы V и VI, так как в них приведены убедительные примеры эффективной реализации на конкретных установках (радиотелескоп, испытательный стенд механических трансмиссий) методов построения оптимальных систем управления электроприводами с учетом влияния зазоров в кинематических цепях на их работу.

В главе VII рассмотрены рациональные структуры адаптивных электроприводов и следящих

электромеханических систем, методика их расчета, имеющая практическое значение при проектировании. Книга написана на основе проводимых под научным руководством авторов в течение многих лет научных исследований и практических разработок по адаптивному управлению в С.-Петербургском электротехническом университете.

Следует отметить, что в этом институте создана прикладная теория адаптивных электромеханических систем широкого применения, нашедшая отражение в книге и получившая положительную оценку при ее реализации на практике в ведущих отраслях промышленности — металлургии, станкостроении, робототехники. Разработанные под руководством авторов адаптивные системы удовлетворяют высоким требованиям международных стандартов.

Книга является монографией и написана высококвалифицированными специалистами, хорошо известными своими работами в России и за рубежом.

Нет сомнения, что рецензируемая книга поможет в работе специалистам, которые занимаются проектированием электроприводов высокого уровня.

Н.Ф.ИЛЬИНСКИЙ, В.М.ТЕРЕХОВ, М.Г.ЮНКОВ, профессора

НОВАЯ КНИГА

В 1994 г. вышла из печати на английском языке книга профессора Варшавского технического университета М.Казьмирковского и Г.Туя "Автоматизированные вентильные электроприводы", изд-во "Эльсивер".

В книге освещены фундаментальные проблемы современной силовой электроники и регулируемого привода. В ней рассмотрены:

математические модели на базе пространственного вектора различных типов электромоторов постоянного тока, индукционных, синхронных с постоянными магнитами;

преобразователи следующих видов: сетевые выпрямители и инверторы, преобразователи частоты, инверторы тока и напряжения, регуляторы постоянного напряжения, высокочастотные резонансные инверторы;

принципы построения систем управления — оптимизация динамических режимов, непрерывные и дискретные системы регулирования; замкнутые системы регулирования, адаптивные системы регулирования;

приводы постоянного тока, питаемые от промышленной сети и источника постоянного тока, имеющие цифроаналоговые и адаптивные системы регулирования;

электроприводы с индукционными двигателями, роторы которых имеют обмотки, регулирование их скорости изменением напряжения, регулированием сопротивления в фазах ротора и в схеме двойного питания;

частотно-регулируемые электроприводы — питание от источников с несинусоидальным напряжением; динамические характеристики при различных принципах управления; скалярное и векторное управление; приводы, питаемые от инверторов тока; приводы с широтно-импульсным токовым управлением; приводы, питаемые от инверторов напряжения;

частотно-регулируемые синхронные электроприводы — разомкнутые системы; приводы, питаемые от циклоинверторов; приводы с коммутацией напряжением нагрузки; транзисторное широтно-импульсное регулирование двигателей с постоянными магнитами.

Даны основы микропроцессорного управления.
Книга хорошо построена методически, написана на ясном языке и снабжена необходимыми иллюстрациями. Она может быть полезна широкому кругу читателей, а также студентам как учебное пособие.

Целесообразно перевести эту книгу на русский язык.

Доктор техн.наук, проф. О.Г.БУЛАТОВ

ПРЕДЛАГАЕМ УСЛУГИ:

- составление заявок на товарные (фирменные) знаки, изобретения и полезные модели;
- поиск патентной информации по заданной тематике по ведущим странам мира;
- консультации по всем видам патентно-лицензионной работы.

Наш адрес:

107078, Москва, Садово-Спасская ул. д. 1/2, корп. 2, НИИЭлектропривод,

Телефон: 208-20-43.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

В редакции нашего журнала (метро "Краснопресненская" или "Баррикадная", ул. Зоологическая, 11, комн. 212, телефон 254-11-52) **МОЖНО ПОДПИСАТЬСЯ НА ЖУРНАЛ "ЭЛЕКТРОТЕХНИКА" НА II ПОЛУГОДИЕ 1994 г.**

У нас **МОЖНО КУПИТЬ И ОТДЕЛЬНЫЕ НОМЕРА ЖУРНАЛА** за прошлые и нынешний годы, справившись о наличии нужного Вам номера по телефону 254-11-52.

К сожалению, выслать журнал по почте наложенным платежом редакция не имеет возможности.

УДК 62-83:681.352.2

Синтез управления в электроприводах. Д. Б. Изосимов. — Электротехника, 1994, № 7, с.

Предлагается универсальная алгоритмическая база построения электроприводов на основе комплекса современных (в том числе оригинальных) методов идентификации, фильтрации и управления. Использование такой базы позволяет синтезировать законы управления разнообразными приводами от дешевых массовых приводов до уникальных сверхточных, высокودинамичных и т.п. на основе единого структурированного подхода.

Библ. 11 назв.

УДК 62-83::621.313.3.072.9

Преобразователь частоты для регулируемого электропривода широко применения. А. В. Кудрявцев, Д. Д. Богаченко, Л. Н. Ладыгин, А. А. Никольский, Г. М. Федоров. — Электротехника, 1994, № 7, с.

Описан преобразователь частоты на транзисторах для частотно-регулируемого асинхронного электропривода, разработанный на кафедре автоматизации электропривода МЭИ.

Ил. 4. Библ. 3 назв.

УДК 621.313.333-57.001.5

Специальные режимы пуска устройств для асинхронных двигателей. В. А. Анисимов, А. О. Горнов, В. В. Москаленко, Ю. В. Рожанковский. Электротехника, 1994, № 7, с.

Рассматриваются проблемы, возникающие при пусках асинхронных электроприводов с короткозамкнутыми двигателями. Анализируются возможности гибридных тиристорных пускателей для решения этих задач. Приведены результаты исследований векторно-импульсного способа управления, позволяющего существенно улучшить технические и энергетические свойства и расширить функциональные возможности тиристорных пускателей.

Ил. 5 Библ. 4 назв.

УДК 62-83.001.24

Алгоритмы идентификации механических координат электропривода. С. Е. Рывкин, Д. Б. Изосимов. — Электротехника, 1994, № 7, с.

Рассмотрены вопросы получения оценок механических координат электропривода по информации об электрических переменных режимах. Предложены оригинальные алгоритмы, использующие скользкие режимы, обеспечивающие получение информации о частоте вращения двигателя постоянного тока и частоте вращения и угловом положении ротора синхронного двигателя.

Библ. 6 назв.

УДК 621.313.3:621.316.544.1.001.8

Однокристалльный микроконтроллер электродвигателей. Б. И. Попов. Электротехника, 1994, № 7, с. 30

Рассмотрена реализация алгоритмов импульсного управления электродвигателя различного типа в виде универсальной полужаказной БИС (большая интегральная схема). Приведены основные характеристики и параметры микроконтроллера.

Ил. 4. Табл. 5. Библ. 7 назв.

УДК 62-83.078.001:531

Робастный регулятор позиционирования для мощного биотехнического манипулятора. В. Н. Остриров, А. И. Прибора. — Электротехника, 1994, № 7, с. 35

Изложена методика синтеза регулятора позиционирования мощного биотехнического манипулятора при приведении математического описания его степеней подвижности к двумассовым электромеханическим системам. Процесс позиционирования рассмотрен как задача оптимальной стабилизации координат, закон управления получен в виде линейной комбинации компонент вектора состояния. Приведены результаты использования методики для разработки алгоритма позиционирования экскаватора-драглайна.

Ил. 1. Библ. 3 назв.

УДК 62-83:681.325.1

Измерение ошибок регулирования в микропроцессорных системах автоматического управления электроприводами. Г. Б. Онищенко, П. С. Сергеев. — Электротехника, 1994, № 7, с. 45

Разработаны способ и устройство для цифрового измерения ошибок регулирования параметров микропроцессорной системы управления электроприводом с импульсными датчиками, позволяющие получить заданную точность и разрешающую способность в любом диапазоне регулирования при оптимальном времени измерения.

Ил. 2. Библ. 1 назв.

УДК 62-83:681.3.06

Система компьютерной поддержки оптимизации электромеханических систем главных приводов экскаваторов-драглайнов. В. И. Остриров, Ю. Т. Бурыкин. — Электротехника, 1994, № 7, с. 55

Кратко изложены функции прикладного программного продукта DragCAD для решения задач исследования, оптимизации и проектирования многосвязных электромеханических систем главных приводов экскаваторов-драглайнов.

Ил. 2.

Научный редактор Н.С. Разумовская
Литературный редактор А.М. Мескина
Компьютерная верстка Е.Я. Силантьева

Сдано в набор 28.04.94 Подписано в печать 13.07.94 Формат 60×88¹/₈.
Бумага офсетная №2. Печать офсетная. Усл. печ. л. 8.
Тираж 885 экз. Заказ 1254

АО "ЗНАК" 115547, Москва, Микшевский проезд, 4

Компьютерная верстка НПО "Электропривод"
107078, г. Москва, Садово-Спасская ул., д 1/2, корп. 3
Типография №9 Комитета РФ по печати.
Москва 109033, Волоцкая ул., 40

