

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМОВ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Панкратов В.В.

Аннотация. В статье рассматриваются традиционные технические решения и новые разработки [ЗАО "ЭРАСИБ"](#) в области электропривода для механизмов подъема лифтов, кранов, шахтных подъемников.

Введение

При разработке новых и модернизации существующих подъемно-транспортных механизмов наиболее жесткие требования предъявляются к электроприводам (ЭП) механизмов подъема кранов, всех видов шахтных подъемников и механизмов перемещения кабины лифтов. Использование специализированных систем регулируемого ЭП позволяет повысить скорости перемещения и точность останова груза, за счет ограничения рывка и ускорения обеспечить отсутствие ощутимых толчков при старте и останове, увеличить срок службы основных механических узлов – тяговых тросов, тормозных колодок, редукторов, подвески противовеса [1].

Существующие механизмы подъема кранов, как правило, оснащены электроприводами на базе асинхронных двигателей с фазным ротором и релейно-контактным управлением (мостовые, козловые, порталные краны) или тиристорными ЭП постоянного тока с двигателями кранового исполнения (грейферные краны). В шахтных подъемных машинах традиционно применяется как тиристорный ЭП постоянного тока [2], так и ЭП на базе высоковольтных асинхронных электрических машин с фазным ротором (АДФР) и тиристорных пускорегулирующих устройств типа ЭПТФ (ранее – УПТФ) производства ЗАО "Завод крупных электрических машин", Украина, заменяющих релейно-контактные роторные станции и также содержащих ступени пусковых реостатов.

В большинстве лифтов, эксплуатирующихся в настоящее время и разработанных несколько десятилетий назад, установлены нерегулируемые (массовые лифты со скоростью до 1,4 м/с) или регулируемые (скоростные лифты со скоростью 1,6 – 4,0 м/с в зданиях с этажностью от 20 до 40 остановок) электроприводы [3]. В первом случае в электропривод, как правило, построен на базе асинхронных двигателей переменного тока – двухскоростных или с фазным ротором – с релейно-контактной системой управления, а во втором – на базе системы "тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока". Широкое распространение в данном секторе получили, в том числе, разработки ОАО "Электропривод" [3].

В последние 10 – 15 лет наметилась отчетливая тенденция к оснащению скоростных лифтов и подъемников высотных зданий регулируемыми электроприводами переменного тока [1]. Здесь находят применение и асинхронные ЭП, и системы с синхронными двигателями

магнитоэлектрического возбуждения, имеющими наилучшие удельные энергосиловые показатели [4].

При выборе регулируемого ЭП переменного тока потребителю предстоит принять довольно нелегкое решение – оборудовать свой подъемный кран или лифт электроприводом зарубежного производства или обратиться к отечественным фирмам-производителям систем частотно-регулируемого ЭП. Тем не менее, опыт наладки систем управления ЭП переменного тока, в том числе систем управления ЭП подъемно-транспортных механизмов, показывает, что далеко не каждый преобразователь частоты (ПЧ) зарубежного производства способен в полной мере справиться с теми задачами, которые возникают на реальном объекте. Это объясняется тем, что подъемно-транспортные механизмы предъявляют к ЭП ряд специфических требований.

1. Способность развивать более чем номинальный вращающий момент во всем динамическом диапазоне изменений скорости, начиная с нулевой, и во всех четырех квадрантах плоскости механических характеристик как при использовании датчика частоты вращения (положения) ротора двигателя, так и в бездатчиковом варианте.
 2. Высокое быстродействие в процессах отработки возмущений, позволяющее "подхватывать" висящий груз при его растормаживании без значительной интегральной ошибки (по положению). С одной из рациональных методик синтеза контура регулирования частоты вращения ЭП по возмущающему воздействию можно ознакомиться по статье [5].
 3. Наличие S-образного задатчика интенсивности.
 4. Функция управления тормозом и возможность гибкого интегрирования ЭП в систему управления краном, подъемником или лифтом.
 5. Возможность торможения с рекуперацией энергии в питающую сеть.
 6. Предварительная настройка системы управления на параметры двигателя и коррекция настройки (адаптация системы) в процессе работы ЭП.
 7. Необходимый набор защит от перегрузок, способных привести к аварии.
- Таким образом, использование преобразователей частоты общепромышленного применения в приводах подъема – дело неблагодарное!

Повышенное внимание при разработке ЭП лифтов и других подъемных механизмов уделяется надежности, безопасности, встроенной разветвленной системе диагностики отказов, вопросам энерго- и ресурсосбережения, удобству наладки на объекте и, конечно, технико-экономическим показателям.

В настоящей статье рассматриваются некоторые из последних разработок ЗАО "ЭРАСИБ" (г. Новосибирск) в области электропривода грузоподъемных механизмов, выполненные совместно со специалистами кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Новосибирского государственного технического университета в качестве современной альтернативы вышеперечисленным и во многом морально устаревшим системам переменного тока.

Транзисторные пускорегулирующие устройства "ЭРАТОН-Р"

Устройства пусковые комплектные "ЭРАТОН-Р" предназначены для плавного пуска промышленных механизмов, приводимых в движение высоковольтными асинхронными двигателями с фазным ротором. Благодаря предварительному плавному выбору люфтов, зазоров и "преднатяжению" элементов передачи с программируемым темпом перед процессом запуска, а также стабилизации пускового тока (или динамического момента) устройства позволяют значительно повысить сроки службы элементов механического оборудования и уменьшить простои, связанные с их выходом из строя. Эти особенности устройств обуславливают преимущества использования "ЭРАТОН-Р" в электроприводах механизмов с большими приведенными маховыми массами (конвейеры, мельницы, дробилки и т.п.), и в механизмах с тяжелыми условиями эксплуатации, в том числе – шахтных подъемниках.

Устройства могут использоваться как в одно-, так и в многодвигательных электроприводах, причем в последнем случае может быть включена функция выравнивания загрузки двигателей по току и моменту на этапе запуска электропривода и при работе в установившемся режиме. Опционально устройства могут комплектоваться контактным короткозамыкателем, что улучшает энергетические характеристики электропривода на номинальной скорости.

При оснащении пусковым реостатом соответствующей мощности устройства могут обеспечивать продолжительную работу электроприводов на пониженной скорости с нагрузкой от нуля до номинальной.

Конструктивно устройства выполнены как единый шкаф управления. Опциональный контактный короткозамыкатель поставляется как отдельное изделие.

Силовая схема шкафа управления "ЭРАТОН-Р", см. функциональную схему на рис.1, состоит из трехфазного мостового тиристорного выпрямителя, подключенного к выводам фаз обмотки ротора (контактным кольцам) двигателя, транзисторного замыкателя (чоппера) со снаббером и емкостного фильтра. К выводам шкафа подключен балластный резистор, определяемый из условий создания номинального (или 120% - ного) момента при пуске двигателя.

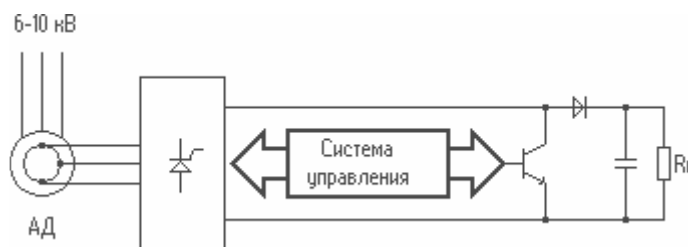


Рис.1

Система управления устройством оснащена многофункциональным цифровым пультом местного управления, позволяющим задавать режимы работы и параметры системы при ее наладке, управлять пуском и остановом

электропривода. Устройства реализуют максимально-токовую и тепловую защиты двигателя, защиту двигателя от неуспешного пуска, защиту механизма от несанкционированного направления вращения.

Для включения устройств в АСУ технологическими процессами и координации устройств в многодвигательном приводе в "ЭРАТОН-Р" предусмотрены последовательные каналы с протоколом Modbus. Устройство также оснащено дискретными входами и выходами с программируемыми функциями: реверсивное управление высоковольтной ячейкой питания статора двигателя и тормозом, управление автозапуском от повторителя выключателя статора, управление с дистанционного пульта, готовность привода, успешное окончание процесса запуска и т.д.

При запуске электропривода устройство плавно (с программируемым темпом) увеличивает момент (ток) двигателя от нуля до пускового с воздействием на угол регулирования тиристорного выпрямителя при полностью введенном в цепь выпрямленного тока балластным сопротивлением. После выборки люфтов, зазоров и "преднатяжения" начинается запуск электропривода с заданным по программе током (или динамическим моментом), в ходе которого непрерывно уменьшается эквивалентная величина дополнительного активного сопротивления в цепи ротора двигателя путем широтно-импульсного регулирования (ШИР) тока выпрямителя транзисторным чоппером. По окончании процесса пуска электропривода цепь выпрямленного тока ротора закорачивается транзистором, а при наличии контактного короткозамыкателя – замыкаются кольца ротора двигателя. В многодвигательном варианте токи приводных двигателей выравниваются по схеме "ведущий – ведомый" путем ШИР.

Преимущества "ЭРАТОН-Р".

1. Комплектное пусковое устройство "ЭРАТОН-Р" предназначено для замены морально устаревших контактных пусковых роторных станций и бесконтактных пусковых устройств типа УПТФ (ЭПТФ), обеспечивая функцию выборки люфтов, зазоров и "преднатяжения", а также высокую плавность пуска без скачков тока двигателя и момента электропривода. Темп разгона определяется параметрами системы управления.
2. Связь шкафа управления с балластным резистором выполняется двумя проводниками, в отличие от устройств УПТФ (ЭПТФ), где каждый замыкающий тиристор соединен со своей ступенью сборки блоков пусковых сопротивлений.
3. В течение всего процесса пуска электропривода (кроме подготовительного этапа плавного наращивания момента) тиристорный выпрямитель цепи ротора работает с минимальным углом регулирования, благодаря чему достигаются высокий коэффициент мощности двигателя и малые дополнительные потери энергии и пульсации выпрямленного тока с частотой ШИР.
4. Выравнивание нагрузок в "ЭРАТОН-Р" в установившемся режиме работы многодвигательного привода достигается не включением в

цепь ротора невыключаемых выравнивающих резисторов, как в устройствах УПТФ (ЭПТФ), а с помощью ШИР, что значительно повышает точность выравнивания нагрузок, снижает дополнительные потери при работе на номинальной скорости и повышает жесткость результирующей механической характеристики многодвигательного привода.

ПЧ для асинхронизированной синхронной машины "ЭРАТОН-М5Р"

Большие перспективы при модернизации ЭП на базе высоковольтных АДФР имеет применение специальных систем, построенных по схеме асинхронизированной синхронной машины (машины двойного питания) с векторным управлением по цепям ротора, которые также имеются в номенклатуре продукции ЗАО "ЭРАСИБ". Специализированные преобразовательные устройства "ЭРАТОН-М5Р", функциональная схема которых приведена на рис.2, представляют собой транзисторный преобразователь частоты с цифровым управлением, подключенный к ротору двигателя, который оснащен активным выпрямителем напряжения сети 0,4 кВ (индивидуальным или работающим на группу ЭП механизмов подъемного крана). В силу использования в нем малого числа низковольтных транзисторов, "ЭРАТОН-М5Р" имеет намного меньшую стоимость, чем высоковольтные преобразователи частоты для управления АДФР с закороченным ротором по цепям статора. В отличие от ЭПТФ и "ЭРАТОН-Р" это устройство не рассеивает энергию скольжения двигателя на весьма дорогостоящих и требующих обслуживания пусковых сопротивлениях, а рекуперирует ее в питающую сеть, чем значительно улучшают энергетические и массогабаритные показатели электропривода в целом, снижают эксплуатационные затраты.

Рис.2

"ЭРАТОН-М5Р" допускает регулирование скорости ЭП как вниз (в бездатчиковом варианте в диапазоне до 50:1), так и вверх от синхронной (2:1) с постоянством вращающего момента, что создает предпосылки повышения производительности механизмов. Алгоритмы самонастройки ПЧ, основанные на автоматической предварительной и текущей идентификации параметров АДФР как объекта векторного управления, существенно сокращают трудозатраты при наладке ЭП и обеспечивают стабильность его динамических и статических характеристик. "ЭРАТОН-М5Р" также имеет разветвленную систему защит от нештатных ситуаций, цифровой пульт местного управления и все перечисленные выше интерфейсные модули для включения устройства в состав АСУ ТП.

ПЧ для асинхронных и синхронных крановых электроприводов с векторным управлением "ЭРАТОН-М5"

Наиболее перспективными в реализации являются структуры частотно-регулируемого ЭП, где в качестве управляемой электрической машины

используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (АД) и синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ).

Серия ПЧ "ЭРАТОН-М5", производства ЗАО "ЭРАСИБ" обеспечивает адаптивное бездатчиковое векторное управление АД или (по предварительному заказу) СДПМ. ЭП данной серии находят свое применение в качестве ЭП подъема кранов и шахтных лифтов, обеспечивая диапазоны регулирования скорости не ниже 50:1. Функциональная схема системы управления "ЭРАТОН-М5" изображена на рис.3, где АИН – автономный инвертор напряжения; РТ – регулятор токов двигателя во вращающейся системе координат; РС и РП – регуляторы скорости и магнитного потока. В алгоритме управления реализованы современные подходы к построению т.н. "интеллектуальных" ПЧ [6].

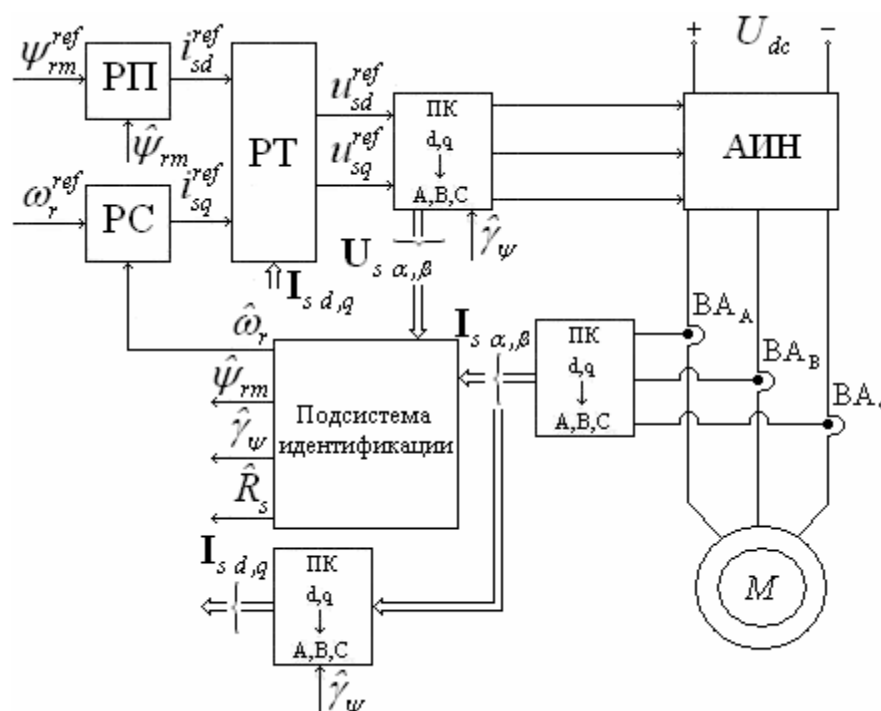


Рис.3

Особенности кранового электропривода "ЭРАТОН-М5".

1. Электропривод крановый частотно-регулируемый с прямым цифровым управлением предназначен для использования в механизмах подъема мостовых, козловых и др. видов подъемных кранов, предъявляющих высокие требования к перегрузочной способности на низких скоростях и динамичности по возмущающему воздействию – активному моменту сопротивления нагрузки.
2. Может применяться при модернизации электроприводов на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором, не имеющих на валу датчиков положения (частоты вращения). Датчиковые приводы "ЭРАТОН-М5" в качестве датчиков положения и скорости вала двигателя используют фотоэлектрические инкрементальные энкодеры.

3. Благодаря созданному специалистами ЗАО "ЭРАСИБ" бездатчиковому векторному алгоритму управления достигаются максимальные моменты от 160 до 250% от номинального при ограничении тока двигателя и полосе пропускания частот системы регулирования скорости от 2,5 до 25 (для малой мощности) Гц.
4. В сочетании с устройством рекуперативного выпрямления (общего для всех электроприводов крана) или при оснащении балластным резистором обеспечивает глубокое регулирование скорости во всех четырех квадрантах плоскости механических характеристик.
5. Электропривод выполняет настраиваемые функции логического управления исполнительными устройствами крана, в частности – тормозом.
6. Располагает функциями автоматической самонастройки на двигатель и механизм, а также адаптации к тепловому режиму двигателя. Встроенная коррекция параметров математической модели двигателя, используемой при векторном управлении, позволяет достигать наивысших динамических (быстродействие) и энергетических (соотношение "ток-момент") характеристик.
7. Имеет до восьми предустанавливаемых скоростей движения в каждом направлении, задаваемых логическими сигналами.
8. Кроме стандартного набора защит, реализует интеллектуальную защиту от перегрузки механизма подъема и обусловленной ей возможности падения груза. Срабатывание защиты обеспечивает надежное наложение тормоза при распознавании аварийной ситуации.
9. Имеет повышенную помехоустойчивость благодаря использованию оптоэлектронных устройств связи контроллера с драйверами силовых транзисторов.
10. Электропривод прошел промышленные испытания и в настоящее время функционирует в производственном режиме на механизмах главного и вспомогательного подъема технологических кранов Братского алюминиевого завода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А.Б., Сибирцев А.Н., Журавлев С.В. Бездатчиковый электропривод подъемно-транспортных механизмов // Силовая электроника. – 2007. – №1. – С. 46 – 52.
2. Католиков В.Е. Технологические особенности применения тиристорного электропривода шахтных подъемных машин // Электротехника. – 2001. – №1. – С. 46 – 55.
3. Ишханов Э.П. Электрооборудование лифтов, перспективы развития и применения // Электротехника. – 2001. – №1. – С. 43 – 46.
4. Панкратов В.В. Вентильный электропривод: от стиральной машины до металлорежущего станка и электровоза // Электронные компоненты. – 2007. – № 2. – С. 68 – 77.

5. Берестов В.М., Панкратов В.В. Параметрический синтез контура регулирования скорости транзисторного электропривода по возмущающему воздействию // Электричество. – 2006. – № 12. – С. 32 – 35.
6. Панкратов В.В. Тенденции развития общепромышленных электроприводов переменного тока на основе современных устройств силовой электроники // Силовая интеллектуальная электроника. – 2005. – №2. – С. 27 – 31.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Панкратов Владимир Вячеславович – доктор технических наук, профессор. Окончил Электромеханический факультет Новосибирского электротехнического института в 1988 г. Докторскую диссертацию на тему "Методы синтеза систем автоматического управления электроприводами переменного тока, малочувствительных к изменениям параметров" защитил в Новосибирском государственном техническом университете (НГТУ) в 1997 г. В настоящее время – профессор кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок НГТУ, работает в области оптимального управления сложными электромеханическими системами в условиях неопределенности при ограниченных энергетических ресурсах. Подготовил 3 кандидатов наук. Автор более 100 научных трудов, 5 учебных пособий, 5 изобретений.

e-mail: Pankratov_v_v@ngs.ru