УДК 621.31

А.Е.КОЗЯРУК, М.С.ЧЕРЕМУШКИНА
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

СТРУКТУРА И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Приведена структура и алгоритмы управления технологическими комплексами с использованием электромеханических систем с полупроводниковыми преобразователями. Рассмотрены алгоритмы прямого управления моментом в электроприводах переменного тока и обеспечения электромагнитной совместимости при использовании активных выпрямителей.

The structure and algorithms of control by technological complexes with use of electromechanical systems with semi-conductor converters is resulted. Algorithms of a direct control by the moment in electric drives of an alternating current and maintenance of electromagnetic compatibility are considered at use of active rectifiers.

Автоматизация современных технологических объектов сопровождается применением большого числа электромеханических систем, с помощью которых решаются задачи повышения качества продукции и эффективности технологического оборудования. Во многих случаях автоматические системы управления электроприводами следует рассматривать как взаимосвязанные, так как в состав технологического оборудования могут входить десятки электроприводов, объединяемых цепями управления, питания и нагрузки. Стремление к энергосбережению путем замены нерегулируемых электроприводов регулируемыми приводит к необходимости рассматривать взаимосвязи электромеханических систем по цепям нагрузки в объектах, для которых ранее такие задачи не стояли. Следует упомянуть и о взаимосвязи выходных переменных электромеханических систем при формировании технологических показателей обрабатываемых изделий, характеризующих их качество. Эта взаимосвязь осуществляется через систему функциональных устройств технологического объекта.

Любой современный технологический комплекс следует рассматривать как автоматизированный – АТК. В соответствии с технологическим процессом работа АТК определяется задающей программой. Осуществляются контроль и регулирование электромагнитных, механических, технологических переменных, показателей качества готовой продукции (переработанного вещества); автоматическая оптимизация обобщенных показателей качества работы АТК; контроль состояния электротехнического, механического и технологического оборудования.

Издержки функционирования АТК в виде таких вредных влияний на технологическую среду, как искажения параметров сети энергоснабжения, информации, электромагнитные поля, должны быть по соответствующим стандартам сведены к допустимому минимуму, а отходы технологии пе-

реработаны в полезную продукцию. Готовая продукция должна соответствовать требованиям стандарта к качеству, производиться за минимально короткое время при минимальном потреблении энергии. Высвобождаемая энергия машин должна возвращаться в технологическую среду; туда же должны поступать информация о работе АТК и данные о качестве готовой продукции.

Механизмы (исполнительные органы рабочей машины) оснащаются индивидуальными электроприводами с электродвигателями (М), управляемыми преобразователями (УП), программируемыми микроконтроллерами приводов (КП) (рис.1). Совместную работу приводов и механизмов, входящих в состав технологического агрегата, координирует технологический программируемый микроконтроллер (КТ). Координацию совместной работы агрегатов технологического комплекса выполняет один из микроконтроллеров КТ или специализированный персональный компьютер (ПК), входящий в состав станции оператора (СО). Через магистральный преобразователь (МП) осуществляется связь АТК с распределенной системой управления технологическим процессом. Наличие в программируемых контроллерах модулей интеллектуальной периферии создает предпосылки к разработке типовых программных блоков, реализующих алгоритмы управления типовым технологическим оборудованием. Развивая идеологию блочно-модульного проектирования средств и систем управления до уровня механизмов, агрегатов и комплексов, можно выделить группы оборудования, для которых характерны общие функциональные задачи управления в технологическом процессе (функциональные модули), и в соответствии с этим подготовить программные модели модулей и программные блоки, решающие задачу управления моделями. Из таких модулей можно формировать блоки-комплексы и в соответствии с этой идеологией обеспечить экономичную технологию проектирования компьютерных систем управления АТК.

В АТК разного производственного назначения могут быть использованы любые сочетания типовых функциональных модулей. Например, управление технологическими переменными через переменные электроприводов (скорости, положения и др.) и переменные исполнительных устройств иного вида (давление, температура, подача эмульсий и др.).

Таким образом, существует реальная возможность создания базы программных мо-

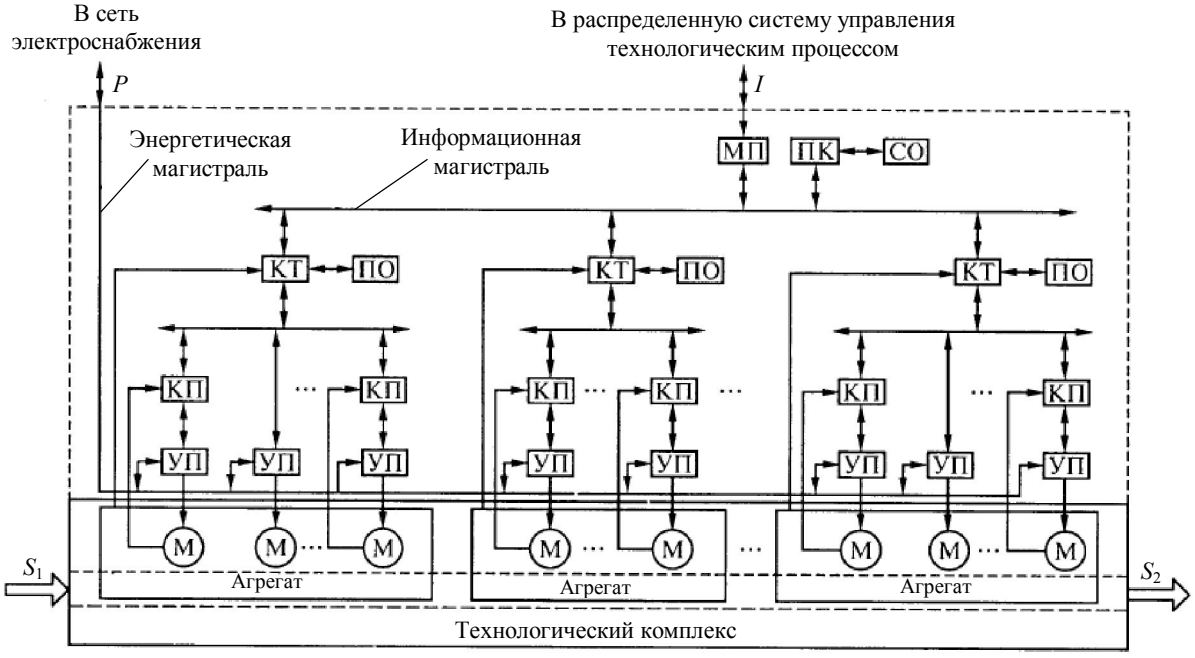

Рис.1. Функциональная схема современного АТК

дулей типовых механизмов и технологических агрегатов, а также программных блоков, реализующих алгоритмы управления механизмами и агрегатами, которые обеспечат решение следующих задач:

- обработку алгоритмов управления механизмами, агрегатами и комплексами с имитацией основных технологических режимов;
- подготовку программного обеспечения компьютерных систем управления конкретными объектами на базе программных блоков;
- исследование возможностей использования типовых компьютерных средств автоматизации для реализации гибкопрограммируемых систем управления механизмами, агрегатами и комплексами.

Типовые модули процессов в сочетании с типовыми приводными модулями позволяют получать готовые модели ряда технологических процессов и мехатронных систем и проектировать полный комплект средств автоматизации для каждого из них. При этом значительно сокращаются затраты на проектирование и время, отводимое для проектных изысканий.

Структура и состав САУ электроприводом с использованием активных выпрямителей, подключаемых к питающей сети, и системы управления электроприводом, реализующей алгоритм прямого управления моментом, приведены на рис.2.

Одной из важнейших проблем при использовании мощных электромеханических

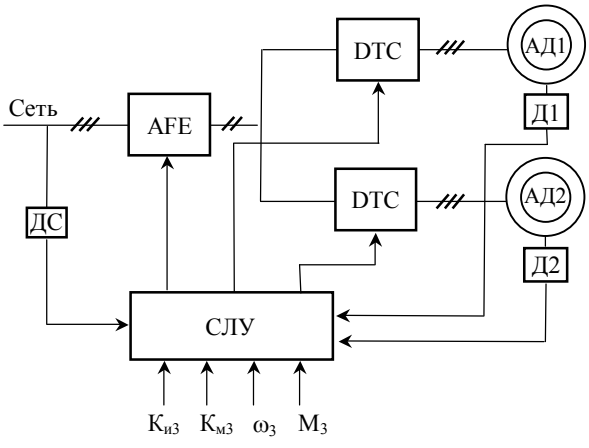

Рис.2. Обобщенная схема логического управления коммутаторами входных (AFE) и выходных (DTC) преобразователей электропривода переменного тока

ДС – датчики сети; Д1, Д2 – датчики электропривода; СЛУ – система логического управления

комплексов является проблема качества электроэнергии и электромагнитной совместимости.

Основным способом повышения совместимости электроприводов со статическими преобразователями с питающей сетью является использование фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ).

Другой способ заключается в использовании в электроприводах переменного тока преобразователей частоты с активным выпрямителем (выпрямителем с активным передним фронтом (AFE) по терминологии зарубежных фирм). Под активным выпрямителем понимается выпрямитель на полностью управляемых IGBT- или IGCT-элементах, работающих в релейных или импульсно-модуляционных режимах ШИМ с применением замкнутых векторных систем автоматического регулирования. Это дает возможность обеспечить требуемые показатели качества электроэнергии, а именно: коэффициент мощности, коэффициент нелинейных искажений и отклонение напряжения. Как следствие, активный выпрямитель позволяет отказаться от установки ФКУ.

При использовании активных выпрямителей электромагнитная совместимость с питающей сетью, а также сокращение потребления реактивной мощности обеспечиваются за счет усовершенствования алгоритмов управления ключевыми преобразователями электрической энергии путем использования релейных и импульсно-модуляционных способов управления. Помимо улучшения электромагнитной совместимости с питающей сетью активные выпрямители позволяют реализовать режим рекуперативного торможения, т.е. улучшают энергетические показатели электропривода.

Полупроводниковые преобразователи частоты с активным выпрямителем имеют следующие особенности:

- полностью управляемые ключи;
- принудительную коммутацию;
- релейные или импульсно-модуляционные способы управления: программная или следящая ШИМ, скользящее (разрывное) управление;
- свойства активных преобразователей частоты (двухзвенных – ДПЧ и непосредственных – НПЧ) становятся идентичными как с

точки зрения реализуемого диапазона выходной частоты, так и в плане влияния на питающую сеть.

Преобразователи частоты с активными выпрямителями обладают рядом свойств, обуславливающих их перспективное применение в энергосберегающих электроприводах переменного тока:

- двусторонний обмен энергией с питающей сетью;
- практически синусоидальный сетевой ток в режимах потребления и рекуперации энергии;
- возможность регулирования не только коэффициента нелинейных искажений сетевого тока, но и коэффициента мощности;
- обеспечение возможности сокращения потерь энергии в процессе ее преобразования.

Усложнение управляющей части преобразователей с активным выпрямителем при использовании систем прямого микропроцессорного управления выразится в усложнении только программного обеспечения.

Получены результаты исследования режимов работы электропривода переменного тока с преобразователем частоты с активным выпрямителем для карьерных экскаваторов. По данным исследования при использовании преобразователей частоты с активным выпрямителем в приводе экскаваторов при общей мощности в сети ~3500 кВ·А коэффициент мощности составляет 0,98-1,00, коэффициент нелинейных искажений сетевого тока ~3,5 %, снижение напряжения в узле распределительной сети карьера при пиковой нагрузке и $\cos\varphi = 0{,}98$ (опережающий) в двигательном режиме – 0,05 %, а при пиковой нагрузке и $\cos\varphi = 1$ в режиме рекуперации – 0,18 %.

Приведенные результаты исследования, опыт использования преобразователей частоты с активным выпрямителем фирмами ABB и «Siemens», приобретаемый отечественный опыт подтверждают необходимость и целесообразность использования для перспективных систем электропривода горных механизмов полупроводниковых преобразователей данного типа.

В результате анализа технических требований к электроприводу, а также алгоритмов управления и способов обеспечения электромагнитной совместимости с питающей сетью могут быть рекомендованы к применению полупроводниковые преобразователи частоты с активным выпрямителем (AFE), реализующие алгоритмы прямого управления моментом (DTC) (в скобках даны принятые международные обозначения). Примерная схема такого электропривода может иметь следующий вид. На входе установлен активный выпрямитель, обеспечивающий электромагнитную совместимость с питающей сетью и улучшенные энергетические показатели электропривода. К общим шинам постоянного тока подключены независимые автономные инверторы каждого механизма, реализующие алгоритмы прямого управления моментом, что дает возможность получить требуемые динамические характеристики.

В качестве примера преобразователя частоты с активным выпрямителем можно привести четырехквадрантный преобразователь ACS 617 фирмы ABB. В преобразователе ACS 617 и выпрямитель, и инвертор выполнены на модулях IGBT. Высокодинамичное управление по DTC-алгоритмам позволяет быстро реагировать на изменения нагрузки и напряжения питания. Время перехода из двигательного режима в режим рекуперативного торможения с максимальной мощностью занимает миллисекунды. При небольших снижениях сетевого напряжения напряжение звена постоянного тока остается неизменным, и двигатели могут работать на полную мощность.

Активный выпрямитель вместе с технологией DTC соответствует жестким требованиям, предъявляемым к электроприводу специальных механизмов:

- устойчивая работа при изменениях напряжения сети за счет стабилизации напряжения звена постоянного тока;
- низкие сетевые гармоники;
- очень быстрая и равномерная реакция при переходе из двигательного режима в режим рекуперативного торможения и наоборот;
- экономия энергии при рекуперативном торможении.

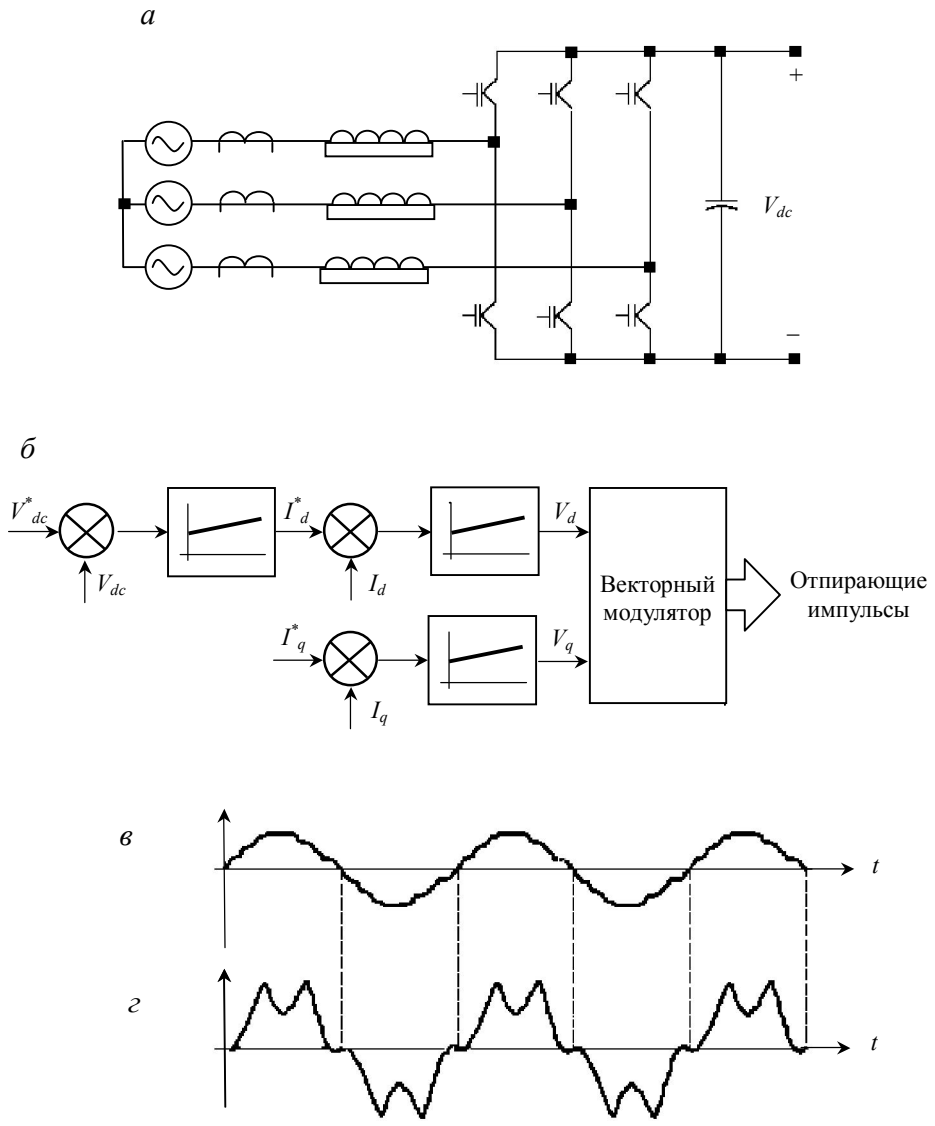

Рис.3. Трехфазный преобразователь с активным передним фронтом: *а* – силовая цепь; *б* – упрощенная система управления; *в, г* – сетевой ток преобразователя AFE и с диодным питанием соответственно

В соответствии с изложенным можно сформулировать следующие основные положения, определяющие идеологию построения схемы электропривода, например, экскаватора:

- асинхронный двигатель может быть выполнен на любые значения мощностей, частот вращения и условий эксплуатации механизмов. Если не ставится задача оптимизации электромеханической части электропривода, при переходе на переменный ток никаких специальных доработок по механической части (редуктор, передачи и пр.) не требуется;
- в схеме используется преобразователь частоты с активным выпрямителем. Задача регулирования электрических показателей и электромагнитной совместимости решается за счет САУ и алгоритма управления выпрямителем. Специальных фильтрокомпенсирующих устройств не требуется;
- преобразователи частоты обеспечивают рекуперацию энергии в сеть, поэтому установка резисторов для обеспечения динамического торможения не требуется;
- система электропривода может быть построена с питанием инверторов от общей шины постоянного тока с регулированием

энергетических показателей общим активным выпрямителем, однако целесообразнее использование многообмоточного трансформатора и индивидуальных преобразователей частоты с активным выпрямителем для каждого привода;

• при использовании современных полупроводниковых элементов на основе GTO (преобразователи ACS 1000 фирмы ABB) может быть разработан высоковольтный вариант электропривода на напряжение двигателей 6 кВ.

На рис.3 приведена информация об особенностях функционирования преобразователя с активным передним фронтом.

В качестве алгоритмов управления электроприводом рекомендуются алгоритмы прямого управления моментом, обеспечивающие максимальное быстродействие и ограничение динамических моментов. При реализации системы автоматизации наиболее целесообразно использование записи информации на носитель с последующей ручной передачей ее в систему высшего уровня.*

* *Козярук А.Е.* Системы прямого управления моментом в частотно-регулируемых электроприводах переменного тока / А.Е.Козярук, В.В.Рудаков. СПЭК. СПб, 2005.