

УДК 62-83:621/.69

В.В. Панкратов, д-р техн. наук, проф., (383)-346-15-68,

pankratov_v_v@ngs.ru,

Д.А. Котин, асп., (383)-346-15-68, ni_Kotin@mail.ru

(Россия, Новосибирск, НГТУ)

ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Рассматриваются принципы построения систем общепромышленного электропривода на базе асинхронной машины двойного питания, не использующих внешних по отношению к преобразователю частоты датчиков электромагнитных переменных и координат механического движения.

Ключевые слова: общепромышленный электропривод, асинхронная машина двойного питания, преобразователь частоты.

Введение

Управляемые со стороны обмотки ротора асинхронные электрические машины с фазным ротором применяются в "большой" энергетике как турбогенераторы и компенсаторы реактивной мощности, а в автономных генераторных комплексах малой и средней мощности и ветроэнергетике – как регулируемые генераторы с переменной частотой вращения вала. При этом статор машины подключается непосредственно к нагрузке или параллельно промышленной сети, а ротор – к управляемому преобразователю частоты. Согласно [1] и ГОСТ 27471-87 такое включение носит название "асинхронизированная синхронная машина" (АСМ). С терминологической точки зрения АСМ является частным случаем асинхронной машины двойного питания (МДП) – машины с фазным ротором, обмотки статора и ротора которой присоединяются к одному или разным источникам переменного тока (ГОСТ 27471-87) или, по-другому, машины, чьи обмотка статора и обмотка ротора питаются от источников, частоты которых могут быть постоянными или переменными (СТ МЭК 50 (411)-73).

В качестве приводных электрических машин асинхронные двигатели с фазным ротором (АДФР) малой и средней мощности, статор которых питается от промышленной сети, используются в грузоподъемных механизмах, главных электроприводах крупных конвейеров на угольных разрезах, главных приводах цементных печей, в цементных мельницах и т.д. Традиционно комплектуемые резистивными пускорегулирующими станциями эти электроприводы имеют низкий коэффициент полезного действия и требуют регулярного и дорогостоящего обслуживания. Потенциал АДФР с неизменными параметрами напряжения питания статора в полной мере раскрывается в асинхронных электроприводах двойного питания (АЭПДП) – системах "преобразователь частоты – двигатель", в которых обмотки статора и ротора асинхронного двигателя подключены к источни-

ку энергии, и одна из них получает питание от преобразователя частоты (ГОСТ 16593-79).

Рассмотрим принципы построения систем общепромышленного АЭПДП на базе трехфазной АСМ с питанием обмотки статора от промышленной сети, не использующих внешних по отношению к преобразователю частоты (ПЧ) датчиков электромагнитных переменных и координат механического движения.

Особенности общепромышленного АЭПДП

Способы частотного и векторного управления МДП, статор которой запитан от промышленной сети, по цепям обмотки ротора весьма привлекательны при регулировании частоты вращения в небольшом диапазоне вниз и вверх от синхронной. В этом случае мощность роторного ПЧ меньше мощности двигателя и определяется лишь диапазоном рабочих скольжений, однако запуск электропривода (ЭП) на подсинхронные скорости должен осуществляться другими средствами, без использования ПЧ. Классические структуры векторного управления АЭПДП с ориентацией вращающейся системы координат по направлению вектора потокосцеплений статора описаны в работе [2]. Примечательно, что АЭПДП может регулироваться выше синхронной скорости (если это допустимо по условиям механической прочности и нагрева) с постоянством момента.

Рабочая область полнодиапазонного АЭПДП для режима S1 в плоскости механических характеристик показана на рис. 1.

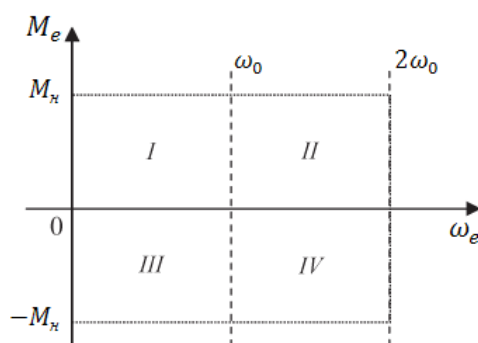


Рис. 1. Рабочая область АЭПДП в плоскости механических характеристик

Для работы ЭП - выше синхронной скорости в двигательном режиме и ниже в генераторном ПЧ - должен обладать возможностью не только отбирать мощность скольжения из цепи ротора, как в областях I и IV, но и напротив – передавать мощность скольжения в обмотку ротора АСМ в областях II и III, т.е. обеспечивать двусторонний обмен энергией между нагрузкой и питающей сетью. Функциональная схема силовой части такого электропривода с двухуровневым ПЧ изображена на рис. 2, где Т – силовой согласующий трансформатор; ПЧ – преобразователь частоты;

АВН – активный выпрямитель напряжения; АИН - автономный инвертор напряжения; УПЗ - устройство предварительного заряда; СУ – система управления; М – АДФР. Для реверсирования направления вращения ЭП без увеличения мощности ПЧ необходимо изменять порядок чередования фаз обмотки статора.

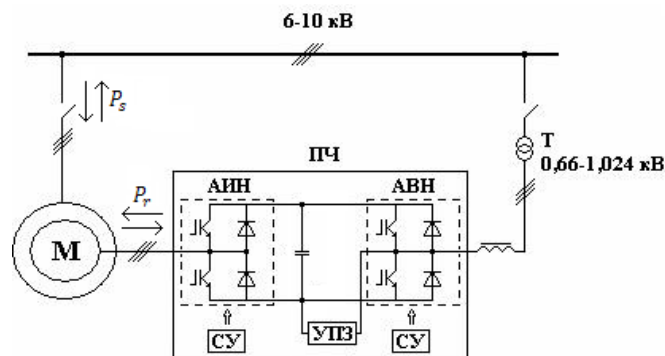


Рис. 2. Схема силовой части АЭПДП с двухуровневым ПЧ

Так как регулирование АДФР с постоянством момента выше синхронной скорости ограничено механической прочностью ротора и подшипниками, а также сопровождается увеличением механических потерь и потерь в стали ротора, используется оно относительно редко и только в кратковременных или повторно-кратковременных режимах работы ЭП. В этой связи (и из-за необходимости коммутации цепей статора АСМ для изменения направления вращения) при модернизации электроприводов, оснащенных маломощными низковольтными АДФР (с напряжением статора 0,4 кВ), как правило, применяется управление по цепям статора при закороченных выводах обмотки ротора, либо двигатель (если это возможно) заменяется на короткозамкнутый. Однако ориентация на АСМ при модернизации существующих и во вновь разрабатываемых системах ЭП средней и большой мощности позволяет отказаться от дорогостоящих преобразователей частоты (ПЧ) среднего напряжения (6...10 кВ) [3].

В общепромышленных применениях построение системы управления ЭП осложняется необходимостью отказа от датчиков на валу двигателя. В данной связи разработано множество "бездатчиковых" алгоритмов управления АЭПДП, обширный библиографический список по которым приведен в работе [4]. Однако абсолютное большинство известных "бездатчиковых" систем АЭПДП использует измерения статорных переменных МДП, т.е. на "высоковольтной" стороне машины, доступ к которой на практике весьма ограничен. Поэтому на предприятии ЗАО "ЭРАСИБ" (г. Новосибирск) принята к реализации концепция "клеммных" измерений, основанная на возможности прямого получения информации только о переменных, присутствующих во внутренней структуре и на клеммах (входных и выходных) преобразователя частоты.

"Бездатчиковое" векторное управление АЭПДП

Анализируя уравнения электромагнитных процессов АСМ в ориентированной по вектору потокосцеплений статора системе координат (d, q) [3], можно сформулировать следующие принципы двухканального (векторного) управления АСМ.

1.С позиций теории автоматического управления АСМ является двухканальным объектом управления, характеризующимся наличием перекрестных связей между каналами через ЭДС скольжения.

2.Управляющие воздействия на регулируемый источник напряжений ротора необходимо формировать во вращающейся системе координат, ориентированной по вектору потокосцеплений статора, а затем преобразовывать их в неподвижные относительно ротора (фазные) координаты.

3.При этом канал воздействия на поперечную составляющую вектора токов ротора i_{rq} следует использовать для управления электромагнитным моментом АСМ.

4.Магнитное состояние машины, определяемое в основном напряжением статора, может корректироваться в соответствии с требуемым режимом работы ЭП воздействием на продольную составляющую вектора токов ротора i_{rd} . Величина последнего должна использоваться для формирования оптимальных режимов электромеханического преобразования энергии в АСМ, критерии оптимизации обсуждаются в работе [3].

На основании вышеизложенного функциональная схема системы векторного управления (СВУ) АЭПДП может быть изображена в виде, приведенном на рис. 3, причем канал энергетической оптимизации на рисунке не показан.

Как уже было указано выше, при модернизации ЭП на базе АДФР среднего напряжения (6 или 10 кВ) заказчиком часто ставится задача избежать установки каких-либо датчиков не только на валу, но и на высоковольтной стороне машины. В этих случаях приходится ограничиваться лишь т.н. "клеммными" измерениями переменных, доступных в схеме питающего обмотку ротора преобразователя частоты. Структурная схема одного из возможных вариантов построения подсистемы идентификации такого ЭП изображена на рис. 4.

Предлагаемый идентификатор основан на уравнении роторной цепи АДФР в неподвижной относительно ротора системе координат [3]. Модель цепи ротора (МЦР) вычисляет компоненты вектора потокосцеплений статора, асимптотическая устойчивость МЦР обеспечивается "корректором нулей" КН. Для вычисления оценки частоты вращения ротора используется следящий тригонометрический анализатор. Его работа заключается в сведении к нулю проекции вектора потокосцеплений статора на поперечную ось вращающейся системы координат (d, q) посредством пропорционально-интегрального регулятора. Если условие $\psi_{sq} = 0$ выполняется и

параметры двигателя заданы верно, то оценка электрической частоты вращения ротора имеет истинное значение. Заметим, что модель представленного на рис. 4 идентификатора является векторной, т.е. обрабатывает сигналы в плоской декартовой системе координат по обеим осям одновременно.

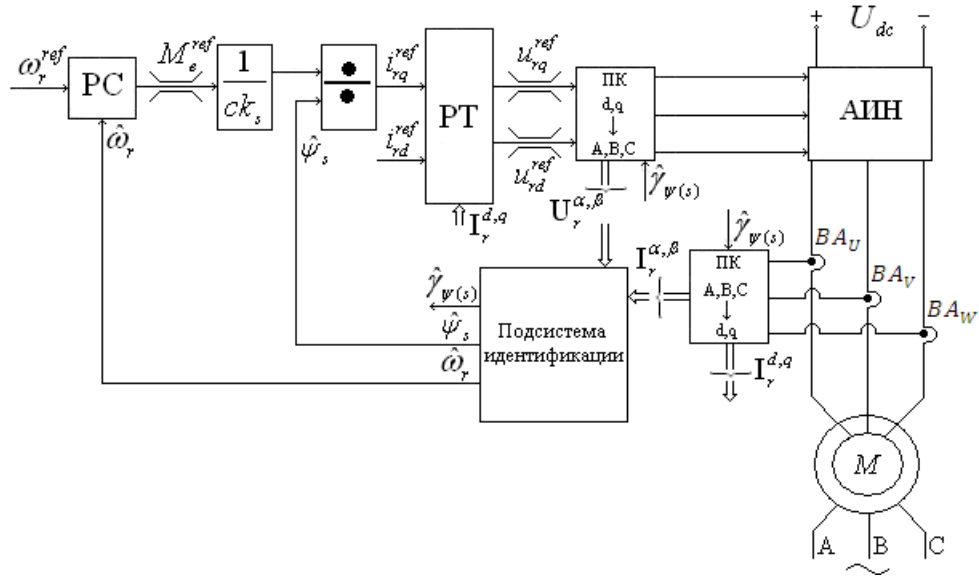


Рис. 3. Функциональная схема "бездатчиковой" СВУ АЭПДП

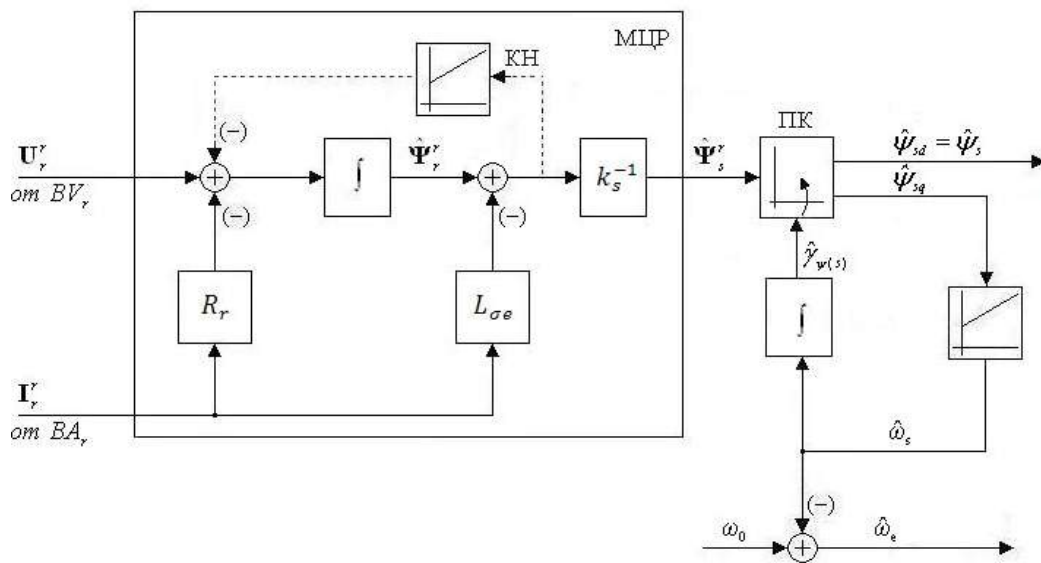


Рис. 4. Структурная схема подсистемы идентификации

Реализация АЭПДП на базе ПЧ "ЭРАТОН-ФР"

На основе описанного выше подхода на предприятии ЗАО "ЭРА-СИБ" при непосредственном участии авторов, а также В.М. Берестова, В.Ю. Волкова, В.А. Клана, А.В. Тарана и др. разработаны и произведены "цифровые" ПЧ типа "ЭРАТОН-ФР" для электроприводов главного движения вращающихся цементных печей ЗАО "Белгородский цемент" (трех-

уровневый ПЧ, 630 кВт), ООО "Ангарский цементный завод" (двухуровневый ПЧ, 320 кВт), для двухдвигательного ЭП клетки шахтной подъемной машины ГОК "Приморский" (2 взаимосвязанных по управлению четырехуровневых ПЧ, 630 кВт, работающие по схеме выравнивания нагрузок с резервированием) и других не менее сложных механизмов. Испытания ПЧ "ЭРАТОН-ФР", проведенные на испытательной станции ОАО «НПО "ЭЛ-СИБ"» (г. Новосибирск) и действующем оборудовании, полностью подтвердили работоспособность разработанных систем ЭП.

Заключение

Полнодиапазонные "бездатчиковые" АЭПДП среднего напряжения, построенные по схеме трехфазной асинхронизированной синхронной машины и ПЧ "ЭРАТОН-ФР", позволяют значительно повысить сроки службы элементов механического оборудования и уменьшить простои, связанные с их выходом из строя, благодаря плавному выбору люфтов, зазоров и "преднатяжению" элементов передачи с программируемым темпом в процессе запуска ("линейная заводка" или S-образная характеристика). Эти особенности обуславливают преимущества использования АЭПДП и, в частности, "ЭРАТОН-ФР" в электроприводах механизмов с большими приведенными маховыми массами (цементные печи, конвейеры, мельницы, дробилки и т.п.) и в других механизмах с тяжелыми условиями эксплуатации.

Список литературы

1. Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные машины. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Leonhard W., Control of Electrical Drives. 2-nd ed. New York: Springer-Verlag, 1996.
3. Котин Д.А., Панкратов В.В. Разработка и исследование системы векторного управления машиной двойного питания // Материалы IX Международной конф. "Актуальные проблемы электронного приборостроения" АПЭП-2008. Новосибирск: НГТУ, 2008. Т.7. С. 95 – 100.
4. Datta R., Ranganathan V. A simple position-sensorless algorithm for rotor-side field-oriented control of wound-rotor induction machine // IEEE Trans. Ind. Electron. Aug. 2001. Vol. 48. No. 4. P. 786 – 793.

V. Pankratov, D. Kotin

The common industrial asynchronous electric drive of a double food with vector management

The principles of industrial electric drive system's construction on the base of doubly-fed induction machine not used external sensors of electromagnetic variables and mechanical motion coordinates according to frequency converter.

Keywords: the common industrial electric drive, the asynchronous car of a double food, the frequency converter.

Получено 06.07.10