DOI: 10.17117/nv.2015.02.042

Поступила (Received): 20.04.2015

<http://ucom.ru/doc/nv.2015.02.042.pdf>info@ggc.nnov.ru**Крюков О.В.****Микроконтроллерное управление электроприводами
газоперекачивающих агрегатов****Kryukov O.V.****Microcontroller control of electric drives of gas-distributing units**

Рассмотрены особенности проектирования мультипроцессорных систем управления электроприводами газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций. Приведены основные требования и особенности проектных решений по автоматизированным системам управления объектов газотранспортных систем на базе современных микроконтроллеров

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, система управления, микроконтроллер

Features of design of multiprocessor control systems of electric drives of gas-distributing units of compressor stations are considered. The main requirements and features of design decisions on automated control systems of objects of gas transmission systems on the basis of modern microcontrollers are provided

Key words: the gas-distributing unit, control system, the microcontroller

Крюков Олег Викторович

Доктор технических наук, доцент
Главный специалист

АО «Гипрогазцентр»

Нижний Новгород, ул. Алексеевская, 26

Kryukov Oleg Viktorovich

Doctor of Engineering Sciences, associate Professor
Chief specialist

JSC "Giprogazcenter"

Nizhny Novgorod, Alekseevskaya st., 26

При реализации систем частотного регулирования высоковольтными электроприводами [1-3] для эффективности и быстрой окупаемости новой техники необходимо использовать все возможные схемные и алгоритмические инновации [4,5], используемые в современных мультипроцессорных САУ [6,7]. Однако применение унифицированных структур и агрегатов, выпускаемых ведущими электротехническими фирмами мира, оставляет проектировщикам возможность использования адаптированных алгоритмов управления основными агрегатами компрессорных станций (КС) только на верхнем уровне иерархии в открытых мультипроцессорных системах управления (МПСУ). Анализ функциональных схем, реализующих векторное управление электроприводами газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) с ориентацией по вектору потокосцепления статора приводит к возможностям построения соответствующей архитектуры МПСУ приводными агрегатами. При этом очевидно, что по объему и допустимому времени вычислений вся структурная схема МПСУ ЭГПА должна делиться на две части (рис. 1).

Одна часть, включающая в себя регуляторы скорости, потокосцепления и составляющих тока статора требует сравнительно небольших вычислительных

ресурсов. Другая часть, отвечающая за координатные, функциональные и тригонометрические преобразователи и определителя модуля должна работать на гораздо более высоких частотах и оперировать со сложными данными. Таким образом, даже предварительный анализ показывает необходимость распределения функций САУ ЭГПА на несколько микроконтроллеров (МК).

Не менее очевидно и то, что наличие датчиков потокосцепления ротора и скорости его вращения ухудшает технико-экономические показатели всего ЭГПА. Косвенное измерение этих параметров возможно, но требует дополнительных вычислительных ресурсов. Поэтому целесообразная структура системы векторного управления ЭГПА с ориентацией по вектору потокосцепления ротора представлена рисунках 1 и 2. Она представляет собой мультипроцессорную архитектуру с распределением всех функций на 2 МК (для ЭГПА с датчиками скорости и потокосцепления) или 3 (в случае бездатчикового ЭГПА).

Рис. 1. Распределение функциональных элементов по МПСУ с ориентацией по вектору потокосцепления ротора (Ψ_r) при наличии датчиков скорости и потока:
 РП, РС, РТ – регуляторы потокосцепления, скорости и тока, БПК – блок преобразования координат, ПЧ, ПФ – преобразователи частоты и фаз, ДПР – датчик положения ротора, ТА – тригонометрический анализатор, ТГ – тахогенератор, БВМ – блок выделения модуля, БК – блок коммутации, АД – асинхронный электродвигатель.

Для мультипроцессорных САУ большое значение имеет принцип обмена информацией между отдельными МК и устройствами памятью, т.к. этот фактор определяет такие важнейшие параметры как быстродействие, устойчивость работы, наращиваемость [3]. Существует три класса распределенных систем управления автоматизированными электроприводами с векторным управлением:

1. Системы с общей памятью имеют общую сосредоточенную память, которая через систему каналов связана с МК, но обмен информацией между памятью и процессорами может осуществляться только поочередно.

2. МПСУ с распределенной локальной памятью, где каждый МК имеет прямой канал связи с определенным сектором и непосредственно подключен к общей СКС, что позволяет организовать самый быстрый и эффективный прямой обмен.

3. Комбинированная организация памяти (сосредоточенно-распределенная), при которой информация, используемая достаточно редко, хранится в ОП, а обмен между ОП и РП осуществляется через общую СКС.

При соответствующем распределении отдельных задач между группами МК разных уровней иерархическая архитектура позволяет достичь в совокупности с распределенной памятью наивысшей производительности и устойчивости в работе всей МПСУ. Именно этот тип архитектуры является наиболее перспективным при создании МПСУ ЭГПА.

Рис. 2. Распределение функциональных элементов по МПСУ с ориентацией по вектору потокоцепления ротора при отсутствии датчиков скорости и потока:

РП, РС, РТ – регуляторы потокоцепления, скорости и тока, БПК – блок преобразования координат, ПЧ, ПФ – преобразователи частоты и фаз, ДПР – датчик положения ротора, ТА – тригонометрический анализатор, БВМ – блок выделения модуля, БК – блок коммутации, АД – асинхронный электродвигатель.

В целом, структура МПСУ ЭГПА определяется тем набором функций, которые она должна реализовывать. На рис. 3 приведена обобщенная схема МПСУ ЭГПА, содержащая минимально необходимые функциональные блоки. Как

видно из схемы, МПСУ должна обеспечить реализацию требуемого закона регулирования амплитуды в функции частоты, реализуя необходимый алгоритм широтно-импульсной модуляции.

Кроме этого, необходима также обработка сигналов, поступающих через АЦП с датчиков координат ЭГПА, с целью получения информации о потокоцеплении, токе статора и других параметрах для организации соответствующих контуров регулирования.

Реализация микропроцессорных алгоритмов регулирования координатами электроприводов связана с организацией вычислений по рекуррентным алгоритмам ПИ- и ПИД- регуляторов. Время цикла вычислений напрямую связано с полосой пропускания контура регулирования системы. Разрядность вычислений определяет диапазон и точность регулирования. В общем случае рекуррентное уравнение микропроцессорного ПИД-регулятора имеет вид:

$$U(k)=U(k-1)+q_0e(k)+q_1e(k-1)+q_2e(k-2),$$

где $u(k)$ и $u(k-1)$ – вычисленное управляющее воздействие на текущем и предыдущем тактах квантования соответственно; $e(k)$, $e(k-1)$, $e(k-2)$ – коды сигналов ошибки трех последних тактов квантования; q_0 , q_1 , q_2 – коэффициенты цифрового регулятора.

Рис. 3. Обобщенная схема МПСУ ЭГПА, содержащая минимально необходимые функциональные блоки.

Как правило, внешний контур регулирования в ЭГПА имеет полосу пропускания порядка 30 Гц при полосе пропускания контура регулирования скорости 300 Гц и контура тока 3-5 кГц. В этом случае частота несущей ШИМ составляет 6-12 кГц. Следовательно, время цикла регулирования МПСУ должно составлять 80-170 мкс.

Неотъемлемая часть любых САУ ЭГПА – координатные преобразователи (КП), устанавливающие связь регулируемых переменных в различных системах координат. Математическое описание синхронных и асинхронных электродвигателей и последующий синтез регуляторов САУ осуществляются во вращающейся системе координат, связанной с опорным вектором. Однако управление двигателями посредством автономных инверторов напряжения или тока и измерение токов в фазах реально происходит в неподвижной трехфазной системе координат $a-b-c$, связанной со статорными обмотками. Поэтому в общем случае КП осуществляют прямую и обратную трансляцию сигналов между вращающейся $x-u$ и неподвижными двухфазной $\alpha-\beta$ и трехфазной $a-b-c$ системами координат в соответствии с уравнениями Кларка.

В цифро-аналоговых схемах управления реализация этих уравнений достаточно сложна, поскольку требует большого количества интегральных микросхем, в том числе аналоговых умножителей. При использовании в САУ МК задача построения КП значительно упрощается. Однако большое число операций перемножения, как отмечено выше, уменьшает частоту цикла регулирования. Поэтому часто контур регулирования тока замыкается в неподвижной системе координат статора $a-b-c$, что сокращает число координатных преобразований и упрощает алгоритм работы МК.

В настоящее время для выполнения КП и других сложных алгебраических вычислений применяются специальные цифровые вычислительные устройства, эти вычисления производятся комбинированным программно-аппаратным способом. В современных публикациях эти устройства получили название микропроцессоры цифровой обработки сигналов – Digital Signal Processor (DSP).

Во всех DSP имеется аппаратная поддержка многоразрядных умножителей, во многих – прецизионное АЦП, в некоторых – разложения в ряд Фурье. Большинство DSP выполняется по RISC-архитектуре (Reduce Instruction Set Computer), позволяющей выполнять любые программные и аппаратные команды за один-два машинных цикла.

Рис. 4. МПСУ ЭГПА с векторным управлением на элементах фирмы Analog Devices:

САР – система автоматического регулирования, КП – координатный преобразователь, ШИМ – широтно-импульсный модулятор, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, АИН – автономный инвертор напряжения, BR – датчик скорости вращения, М – двигатель

Примером реализации МПСУ ЭГПА с векторным управлением является схема, представленная на рис. 4. Регулирование тока здесь осуществляется по двум каналам, которые соответствуют проекциям вектора на оси вращающейся системы координат, совмещенной с вектором потокосцепления ротора.

Рассмотренные системы иллюстрируют тот факт, что разработку идеологии архитектуры МПСУ ЭГПА определяют не специалисты-приводчики, а фирмы-изготовители, занимающиеся выпуском номенклатуры МК. Поэтому реализация вспомогательных функций МПСУ на современной элементной базе выливается в использование дополнительных, прежде всего, аппаратных средств.

Таким образом, САУ ЭГПА должна быть:

- мультипроцессорной;
- векторной с ориентацией по вектору потокосцепления ротора;
- с перенастройкой САР в зависимости от режимов работы;
- адаптивной со сложными алгоритмами САУ ПЧ с ШИМ;
- иметь ресурсы для функций мониторинга и автоматизации.

Один из вариантов реализации структурной схемы МПСУ ЭГПА приведен на рис.5. Инвариантность к используемой элементной базе обеспечивается внутренним интерфейсом, реализуемым с помощью двунаправленных асинхронных буферов (ДАБ). Объем буфера выбирается достаточным для того, чтобы он не переполнялся. Фактически работа системы в этом случае будет такой же, как и в отсутствии буфера.

Рис. 5. Структурная схема МПСУ ЭГПА: ВИ – внешний интерфейс, САУ – система автоматического управления, ДАБ – двунаправленный асинхронный буфер, СДиП – система диагностики и прогнозирования технического состояния, ПДД – порт данных с датчиков, СС – система связи (интерфейс), остальные обозначения – см. рис. 3.

С точки зрения интеграционных возможностей данная архитектура помимо стандартного интерфейса с внешними устройствами для обмена информацией о заданных и текущих параметрах и режимах работы всего электропривода с преобразователями частоты и синхронными (асинхронными) машинами и самой МПСУ, имеется отдельный интерфейс, который предназначен исключительно для обеспечения функций диагностирования и прогнозирования состояния ЭГПА. Такой подход позволяет достичь наивысшей надежности и универсальности ЭГПА в рамках единой АСУ КС сложным многоуровневым технологическим процессом.

Список используемых источников:

1. Пужайло А.Ф. и др. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / Под ред. О.В. Крюкова. Н. Новгород: Вектор ТуС, Т. 2. 2011. 664 с.
2. Пужайло А.Ф. и др. Электроприводы объектов газотранспортных систем: Монография серии «Научные труды к 45-летию ОАО «Гипрогазцентр»» // Под ред. О.В. Крюкова. Нижний Новгород: Исток. Т. 4. 2013. 300 с.
3. Крюков О.В. Частотное регулирование производительности электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2014. № 6. С. 39-43.
4. Степанов С.Е., Крюков О.В., Плехов А.С. Принципы автоматического управления возбуждением синхронных машин газокomppressorных станций // Автоматизация в промышленности. 2010. № 6. С. 29-31.
5. Kryukov O.V. Intelligent electric drives with IT algorithms // Automation and Remote Control. 2013. Т. 74. № 6. С. 1043-1048.
6. Крюков О.В. Проектирование вентильных каскадов с микропроцессорным управлением: Учебное пособие. Нижний Новгород, 1991. 88 с.
7. Крюков О.В. Микропроцессорное управление машинами двойного питания: Учебное пособие. Нижний Новгород, 1999. 118 с.

References:

1. Pugalo A.F., etc. Energy Saving and automation of electrical equipment of compressor stations: the monograph. Under the editorship of O. V. Kryukov. N. Novgorod: Vector Yew, Vol. 2. 2011. 664 p.
2. Pugalo A.F. and others Electric facilities of transportation systems: Monograph series "Research papers of the 45th anniversary of OJSC "giprogazcentr". Under the editorship of O.V. Kryukov. Nizhny Novgorod: The Source. Vol. 4. 2013. 300 p.
3. Kryukov O.V. Frequency control performance of electrically driven gas pumping units. Electrical equipment: operation and repair. 2014. No. 6. P. 39-43.
4. Stepanov S.E., Kryukov O.V., Plekhov A.S. The principles of automatic excitation control of synchronous machines gas compressor stations. Automation in industry. 2010. No. 6. P. 29-31.
5. Kryukov O.V. electric drives Intelligent algorithms with IT. Automation and Remote Control. 2013. Т. 74. No. 6. P. 1043-1048.
6. Kryukov O.V. Designing of valve cascades with microprocessor control: Training manual. Nizhny Novgorod, 1991. 88 p.
7. Kryukov O.V. Microprocessor control of machines of dual power: manual. Nizhny Novgorod, 1999. 118 p.