

Программируемые контроллеры автоматизации PAC (Programmable Automation Controller).

Эволюция, проблемы, тенденции развития

Проанализирована эволюция контроллеров автоматизации PAC и определено их место в иерархии систем управления, обоснована потребность этого класса систем, исследована область применения, выявлены проблемы разработки, сделана попытка сформулировать тенденции и перспективы развития.

В конце 60-х годов прошлого века компания Bedford Associates предложила систему управления MODICON (Modular Digital Controller, модульный цифровой контроллер) с простым микропроцессором AMD 2901 CPU и цифровыми входами-выходами для выполнения логических операций. Так появились программируемые логические контроллеры PLC (Programmable Logic Controllers).

Большинство контроллеров PLC до сих пор используют жесткую архитектуру и простой набор команд микропроцессора. Их аппаратура зависит от производителя, а математическое обеспечение - от решаемых задач и может быть ориентировано: на выполнение predetermined управляющей программы, на сканирование входов-выходов, на управление электроавтоматикой или на коммуникацию через промышленную локальную шину. Программирование осуществляют посредством специализированных языков, определенных стандартом IEC-61131-3. Однако практика разработки сложных систем управления на базе PLC все чаще встречается с ограничениями объективного и субъективного характера, в частности:

- процесс разработки распределенной системы управления долг и сложен из-за разнообразия платформ и различия средств программирования цикловой

автоматики, аналоговых процессов и следящих приводов,

- внедрение дорогих новейших технологий автоматизации сдерживается опасениями, что они могут быстро устареть, и вложенные затраты себя не оправдают,
- затраты на модернизацию существующих систем автоматизации не компенсируются преимуществами обновленных систем,
- существующие системы не справляются с нарастающими объемами сохраняемых данных,
- наличие разнообразных инструментальных средств и платформ требует больших усилий на разработку и спецификацию систем управления, а также и больших затрат на обучение персонала,
- однажды разработанная система управления имеет небольшие шансы быть многократно использованной.

При всех этих ограничениях функциональность контроллеров PLC в последние годы непрерывно возрастала в стремлении обеспечить более высокую гибкость и коммуникабельность. При этом большинство производителей контроллеров PLC так и не смогли позиционировать себя в той революционной ситуации, которая сложилась в промышленности.

Подошло время новых поколений систем управления, обладающих большей гибкостью в отношении прикладного математического обеспечения, большими вычислительной мощностью и памятью, стандартной периферией и сетевыми интерфейсами; систем управления, располагающих возможностью взаимодействия с бизнес-средой. По этой причине возник интерес к совместному использованию контроллера PLC и персонального компьютера PC, см. рис. 1. При этом пер-

сональный компьютер используется не только для программирования, но и для управления и динамического отображения объекта.

В последние годы в контроллерной технике PLC вошел в использование термин «открытый контроллер» (Open PLC). Этот термин, быть может, не вполне удачен, поскольку допускает различные интерпретации в языках программирования стандарта IEC 61131-3, в локальных и промышленных сетях. Тем не менее, к открытым контроллерам относят так называемые «слотовые» (SlotPLC), представляющие собой традиционные PLC, работающие в фоне процессов персонального компьютера, а также «виртуальные контроллеры» (SoftPLC) в составе математического обеспечения промышленного персонального компьютера.

Промышленные персональные компьютеры появились на рынке в 80-90-х годах прошлого века. Их привлекательность при построении систем управления была обусловлена высокой вычислительной мощностью, наличием стандартной периферии, сетевыми функциями, графическим интерфейсом. Промышленные компьютеры нашли применение в сложных системах управления в качестве интерфейсов оператора, в системах накопления данных и в системах корпоративной коммуникации. Промышленные компьютеры произошли из коммерческих персональных компьютеров и были лишь усовершенствованы в аппаратной части для защиты от агрессивной среды; при этом они оставались вычислителями, работающими с приложениями «нереального» времени. Тем не менее, они успешно взаимодействовали с контроллерами PLC, поддерживая в целой системе по-

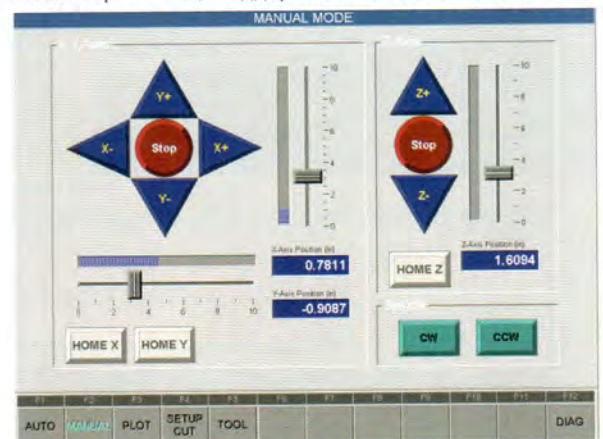


Рис. 1. Совместное использование PLC и PC: а) общая архитектура; б) пример экрана при управлении движением

вышенную гибкость и расширенные функциональности. Оставались проблемы, связанные с использованием традиционной архитектуры и операционной системы общего назначения: нестабильность выполняемых операций, недетерминизм и отказы операционной системы, отказы диска. И все же, типичное решение для современной системы управления состоит в совместном использовании контроллера PLC и промышленного компьютера с тем, чтобы приобрести преимущества и того, и другого.

Такова предыстория зарождения новой концепции – концепции «контроллера автоматизации» PAC (Programmable Automation Controller). К этой предыстории можно добавить следующее.

Анализируя потребности производства в системах управления, зарубежные эксперты дают следующие оценки:

- 80 % всех контроллеров PLC используются в небольших задачах управления (менее 128 входов-выходов);
- 78 % используемых входов-выходов являются цифровыми;
- 80 % всех приложений контроллеров PLC выполнены с помощью 20-ти инструкций языка релейно-контактной логики.

Из этой статистики следует, что сохраняется высокая потребность в простых и недорогих контроллерах; даже таких, которые до сих пор используют первый контроллерный микропроцессор. Не случайно, что ряд производителей PLC до сих пор ограничивают возможности своих контроллеров программированием на языке релейно-контактной логики. Подобная практика удлиняет жизненный цикл простых систем управления, упрощает процесс сопровождения и подготовку специалистов.

Остальные 20 % промышленных систем требуют расширенных функциональностей: повышенной частоты сканирования, сложных алгоритмов управления, расширенных аналоговых возможностей, лучшей способности к интеграции в масштабах предприятия. В 80-90-х годах предпринимались попытки строить эти отдельные 20 % промышленных систем целиком на базе персонального компьютера. Однако системы управления на базе PC имели определенные ограничения, например, при аналоговом управлении и моделировании, при работе с устройствами, выстроенными на иной платформе. Главная же проблема состояла в непригодности стандартных персональных компьютеров к работе в цеховых условиях. Обычно упоминают три существенных недостатка стандартных персональных компьютеров:

- **недостаточная стабильность** – это относится к операционной системе и к необходимости в незапланированных перезагрузках;
- **недостаточная надежность** – она

обусловлена влиянием магнитных полей и недостаточной надежностью блоков питания в цеховых условиях;

- **сложность в обслуживании для цехового персонала** – цеховой персонал легко справлялся с отказами систем, которые программировались на языке релейно-контактных схем; компьютер оказался гораздо более сложным устройством и требовал от персонала специального обучения.

Таким образом, 20 % задач либо обходились пониженными функциональными возможностями обычных PLC, либо использовали совместно контроллер PLC для управления и компьютер PC для расширения функциональности (накопление данных, связь со сканерами бар-кода, работа с базой данных, выход в web-пространство). Подобные системы оказались сложными в разработке и сопровождении, тем более что они никак не были приспособлены к совместной работе.

Все сказанное объясняет необходимость появления контроллеров автоматизации PAC. Термин PAC был введен международной консалтинговой компанией ARC (Automation Research Corporation), которая дала контроллерам PAC следующее определение: «контроллер PAC – это единая междисциплинарная платформа разработки, использующая общее тегирование (сопровождение данных тегами) и единую базу данных для доступа ко всем параметрам и функциям», см. [www.arcweb.com/]. Компания сформулировала основные характеристики PAC с тем, чтобы помочь конечным пользователям определиться со своими запросами.

- **Многомерная (multi-domain) функциональность.** По крайней мере, две из типовых задач управления (логическое управление, управление движением, ПИД-коррекция, управление следящими приводами, управление непрерывными процессами) должны быть выстроены на единой платформе.

- **Междисциплинарная инструментальная платформа.** Она предполагает единообразное структурное представление данных (common tagging) и общую базу данных для доступа к параметрам и функциям. Инструментальная поддержка должна представлять собой не разрозненный набор инструментов, не предназначенных для совместной работы, но единый интегрированный инструментальный пакет.

- **Инструментальное сопровождение должно представлять собой среду, охватывающую несколько машин или узлов, выстроенную на базе стандарта IEC61131-3.** Очень важно привлекать к процессу проектирования графические средства, которые упрощают трансляцию инженерной концепции процесса управления в коды, непосредственно реализующие управление на объекте.

- **Открытая модульная архитектура.** Любые реальные проекты требуют адаптации к запросам пользователя; по этой причине аппаратные средства и математическое обеспечение должны быть представлены модулями, отбираемыми для построения требуемой системы.

- **Использование де-факто стандартов на сетевые интерфейсы и языковые средства.** Прежде всего, имеются в виду TCP/IP, OPC, XML, SQL. Очень важным фактором является взаимодействие с корпоративной сетью.

Хотя контроллеры PAC и PLC имеют формальное сходство, преимущества контроллера PAC выглядят очень убедительно. Контроллер PAC является многофункциональной системой управления, использующей различные средства и технологии; причем пользователи могут пользоваться ими всеми вместе или избирательно. Главное различие PAC и PLC состоит в их базовой основе. Функциональность PLC выстроена на специфической аппаратуре. Функциональность PAC вытекает из возможностей портативного управляющего ядра, использующего выбранную пользователем операционную систему, и из возможностей ядра, располагающего интерфейсом с переносимыми приложениями. Поскольку ядро независимо от аппаратуры, платформа может эволюционировать так быстро, как это необходимо пользователю. Если традиционные контроллеры PLC незаменимы при управлении электроавтоматикой, но выглядят слабее при решении других классов задач, то контроллеры PAC могут в равной степени и с одинаковой степенью гибкости и надежности управлять, в том числе, и следящими приводами, и непрерывными процессами.

Наконец, если контроллеры PLC используют технологии своего производителя OEM (Own Equipment Manufacturer), то контроллеры PAC в полной мере используют принцип COTS (Commercial Off The Shelf, комерческий продукт из магазина) для своих продуктов и технологий. При этом:

- повышаются гибкость и надежность, поскольку можно легко и быстро заказать все виды обслуживания аппаратуры и математического обеспечения;
- сокращаются затраты, благодаря принципу COTS;
- возрастают открытость, гибкость, масштабируемость.

Поскольку контроллер PAC ориентирован на продвинутые области применения с междисциплинарной спецификой, он требует специального мощного математического обеспечения разработки, которое должно быть единым интегрированным пакетом, а не набором независимых инструментов. Нужна открытая модульная архитектура, которая позволила бы для конкретной задачи отобрать

требуемые аппаратные компоненты. Необходимо использование сетевых стандартов TCP/IP и OPC, стандартов на языки программирования и языков XML, SQL. Взаимодействие с корпоративными сетями для современных систем управления является особо критичным фактором, и это требует соответствующей программной поддержки. Контроллеры PAC гибки и конфигурируемы в той степени, в какой пользователи могут приспособить их к решению задач по автоматизации машин и производств в целом. Все компоненты системы направлены на интеграцию аппаратуры и математического обеспечения. Должны быть единые средства для программирования и конфигурирования. Такая возможность предполагает прозрачный доступ к параметрам и функциям комплексной системы, включающей PLC, SoftPLC, удаленные входы-выходы, систему управления движением, ПИД-коррекцию, средства сопровождения пользователем, визуализацию и обработку данных, - с наибольшей степенью интеграции в Internet и максимально полным использованием информационных стандартов, см. рис. 2.

При построении PAC производители берут собственное существующее математическое обеспечение и добавляют новое. Так возникают две «команды»: команда производителей компьютеров с их традиционным базовым математическим обеспечением, принятым за основу, и команда производителей PLC со специфичным математическим обеспечением, принятым в качестве исходного.

Производители математического обеспечения контроллеров PLC начинают с надежной и простой в применении сканирующей архитектуры, а затем наращивают функциональности. Модель такой архитектуры: сканирование входов, исполнение кода, обновление выходов, выполнений служебных действий. Инже-

нер-управленец разрабатывает лишь исполняемый код, поскольку от него скрыты входные и выходные циклы, а также служебные действия. Большая часть работы уже выполнена производителем, что позволяет реализовать конкретную систему управления проще и быстрее. Обычно инженер-управленец далек от понимания нижнего уровня операций PLC. При всем этом, однако, сканирующая архитектура далека от гибкости. Производители PLC, перестраивающиеся на математическое обеспечение PAC, добавляют в существующую сканирующую архитектуру такую функциональность, как Ethernet-коммуникация, управление следящими приводами (motion control), сложные алгоритмы; сохраняя при этом привычную для PLC манеру программирования и управления. В результате оказывается, что математическое обеспечение PAC хорошо приспособлено для управления дискретной автоматикой и непрерывным движением, но не оставляет свободного пространства пользователю для создания его собственных приложений.

Разработчики математического обеспечения PC начинают с использования языка программирования общего назначения, который обеспечивает доступ ко всем тонким аспектам внутренней работы компьютера; а далее работают над повышением надежности, детерминизма, а также и над созданием ядра системы управления. Несмотря на простоту заимствования сканирующей архитектуры PLC, такая возможность не используется. Это делает математическое обеспечение PC гибким и хорошо приспособленным к интеграции сложных приложений. Первым шагом на пути повышения надежности является отказ от операционных систем общего назначения, таких как Windows, и переход к операционным системам реального времени RTOS.

Дальнейшее развитие PAC предполага-

ется в четырех направлениях:

- **Контроллеры PAC общего назначения.** Контроллеры этого типа наследуют архитектуру открытых систем коммуникации и свойства встроенных интерфейсов оператора. Они не располагают возможностями работы в реальном времени и используются в системах мониторинга оборудования и сбора данных.

- **Контроллеры PAC специального назначения.** Контроллеры этого типа относятся к классу мультизадачных систем реального времени. Они имеют, например, встроенные «машины состояния» (state-machines), подсистему управления следящими приводами (motion control), подсистему визуального контроля и др.

- **Контроллеры PAC расширенного назначения.** Контроллеры этого типа являются смешанным решением по отношению к двум предыдущим.

- **Контроллеры с расширенной платформой.** По мере роста популярности PAC пользователи подталкивают производителей к разработке расширенной платформы, которая сможет интегрировать контроллеры PAC от различных производителей. Протокол подобной интегрированной платформы будет в ближайшем будущем разработан ведущими производителями PAC.

Контроллеры PAC должны, несомненно, объединить все лучшее, что есть у контроллеров PLC и компьютеров PC: устойчивость и надежность PLC, гибкость и развитую функциональность PC. В этой связи для контроллера PAC рассмотрим три ключевых технологии: технологию мультизадачной работы в реальном времени, технологию коммуникации, технологию встроенных интерфейсов оператора.

Технология мультизадачной работы в реальном времени. Реальное время означает чувствительность ко времени отклика в том смысле, что это время должно быть меньше предустановленного тайм-аута. Мультизадачная работа предполагает одновременное выполнение нескольких задач с помощью супервизорного планирования.

Существует определенное противоречие между возможностями работы в реальном времени и исполнения при этом нескольких задач. По этой причине специалисты углубляют представление о реальном времени, вводя понятия «мягкого» и «жесткого» реального времени. Задача мягкого реального времени может и не завершиться до наступления тайм-аута, при этом произойдет лишь некоторое снижение эффективности работы. Для задач жесткого реального времени это недопустимо, иначе последствия могут быть непредсказу-



Рис. 2. Структура математического обеспечения контроллера PAC [ni.com/pac]

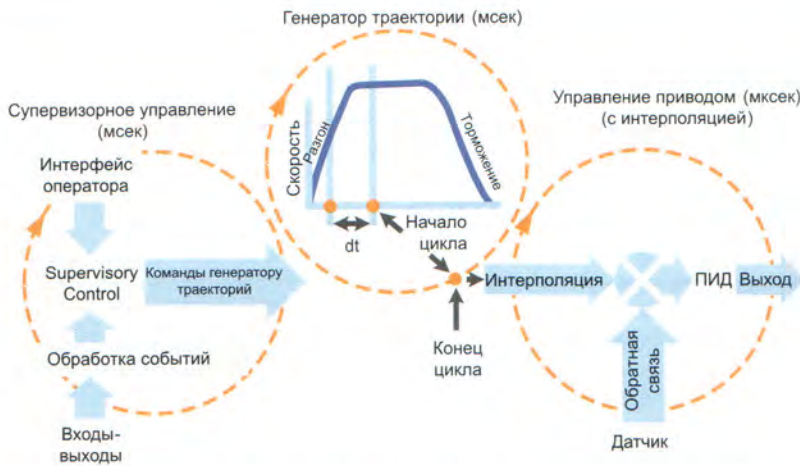


Рис. 3. Подсистемы PAC, работающие с различными периодами постоянной несущей частоты в режимах «мягкого» и «жесткого» реального времени

емыми. Для контроллера, работающего в цеховых условиях, соблюдение жесткого реального времени важнее, чем наличие свойства мультизадачности. Можно заметить, что в рамках одной и той же системы управления отдельные подсистемы могут работать в режимах «мягкого» и «жесткого» реального времени, см. рис. 3.

Технология ко ммуникации. Для ко ммуникации с устройствами, системами предыдущих поколений и бизнес-системами - контроллеры PAC имеют связь с Ethernet, с TCP/IP сокетом системы Windows; они поддерживают XML, имеют встроенные web-сервер, FTP-сервер, Telnet-сервер и SQL-сервер. При этом инженерам предоставлена возможность разрабатывать и использовать web-совместимые приложения и приложения баз данных. Кроме того, перспективные модели контроллеров PAC имеют встроенную инструментальную систему SDK (System Development Kit), имеющую в своем составе OPC-сервер, библиотеки шины Modbus, библиотеки доступа к модулям ввода-вывода. Все это свидетельствует о том, что контроллеры PAC эволюционируют в направлении открытой ко ммуникационной архитектуры.

Эффективная технология встроенных интерфейсов оператора. Контроллеры PAC располагают встроенными

инструментальными средствами для разработки интерфейса оператора HMI и приложений SCADA. Инструментальные средства позволяют сохранять экраны приложений в HTML формате и экспортировать их из встроенного http-сервера в web-браузеры, например в Internet Explorer.

Как правило, наиболее известные фирмы-производители контроллеров PAC имеют немало собственных оригинальных архитектурных и программно-математических решений.

Так, фирма National Instruments (ni.com/rac) использует в проектах PAC семейство собственных инструментальных платформ, включающих математическое обеспечение LabVIEW (<http://www.ni.com/rac/labview.htm>), которое давно традиционно применяют в математическом обеспечении испытательных и измерительных устройств, см. рис. 4. Можно отметить, по крайней мере, три достоинства инструментальной платформы LabVIEW:

- инструментальная среда LabVIEW использует мнемонические графические средства программирования в эргономичном интерфейсе оператора, который сам по себе также разрабатывают с помощью LabVIEW;

- инструментальная среда LabVIEW имеет встроенный модуль операцион-

ной системы реального времени LabVIEW RTX (Real Time eXtension, расширение Windows) для варианта использования внешнего интерфейса FireWire (стандарт IEEE 1394), или встроенный модуль операционной системы LabVIEW ETS (Embedded Tool Suite), для варианта использования внешнего интерфейса CANopen;

- инструментальная среда LabVIEW имеет доступ к программируемым матрицам FPGA (Field Programmable Gate Arrays), что позволяет обеспечить надежность и детерминизм аппаратной части системы управления.

Третье достоинство заслуживает отдельного пояснения, поскольку именно оно устраняет потребность в специальной аппаратуре пользователя. Программируемые матрицы FPGA являются электронными компонентами, используемыми для построения так называемых «пользовательских микросхем». Микросхемы включают набор логических блоков, способных выполнять множество функций, осуществлять программируемые межблочные соединения, выполнять операции ввода-вывода. Использование программируемых матриц позволяет избежать дорогостоящих заказов СБИС. Система LabVIEW FPGA позволяет разрабатывать управляющие алгоритмы заказчика и загружать их в программируемые матрицы.

Заключение. Анализируя современный уровень развития контроллеров PAC, нельзя не заметить, что по сложности, широте и многомерности решаемых задач они приблизились к уровню лучших систем ЧПУ. Главное отличие, однако, состоит в специфике областей применения и особенностях программирования: системы ЧПУ программируют заново с каждой новой деталью, в то время как контроллеры PAC программируют однократно или лишь несколько раз в пределах жизненного цикла.

Мартинев Г.М., проф., д.т.н.
МГТУ «СТАНКИН»,
Мартинова Л.И., к.т.н.
ФГУП НИИАЭ

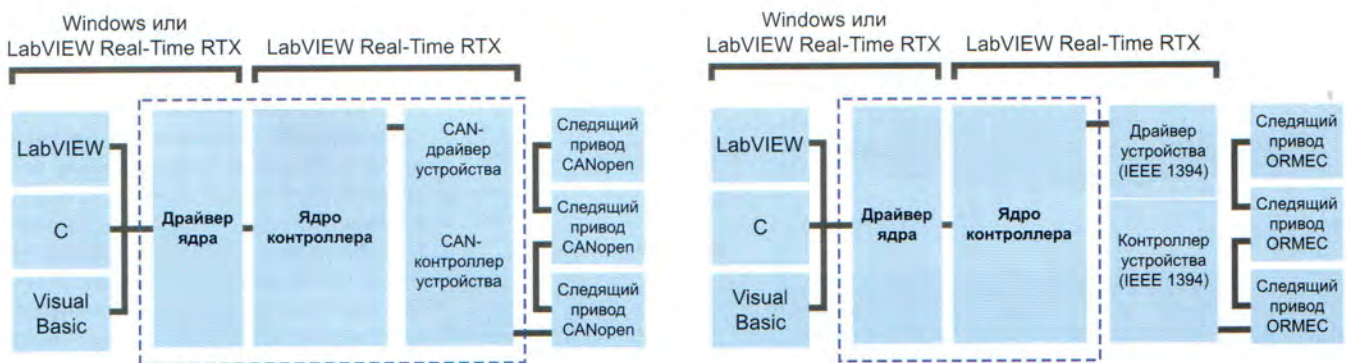


Рис. 4. Варианты построения системы реального времени и интерфейса в контроллерах PAC фирмы National Instruments: а - со встроенным модулем LabVIEW RTX, следящими приводами фирмы ORMEC [www.ormec.com] и внешним интерфейсом FireWire (IEEE 1394); б - со встроенным модулем LabVIEW ETS и внешним интерфейсом CANopen