

## Среда программирования контроллеров ISaGRAF 5 и некоторые современные подходы построения распределенных систем управления в энергетике

В статье рассматривается система программирования контроллеров ISaGRAF 5 компании ICS Triplex ([www.icstriplex.com](http://www.icstriplex.com)) и инновационный стандарт IEC61499, предназначенный для унификации правил создания распределенных приложений и применения функциональных блоков в системах управления. Рассмотрена взаимосвязь IEC61499 с новым стандартом в энергетике IEC61850, ориентированном на решение задач автоматизации на уровне подстанций. Приведены примеры ISaGRAF-контроллеров нового поколения на основе стандарта IEC61499 в России и за рубежом.

### Новые стандарты в области систем автоматизации: подходы к созданию унифицированных распределенных систем управления

В последнее время в теорию и практику создания систем автоматизации стали внедряться новые стандарты, часть из которых могут применяться в широком диапазоне отраслей, а другая часть ориентирована на определенную отрасль, в частности, энергетику. Примерами первого типа стандартов являются IEC61499 (“Function blocks”) и IEC 61804 (“Function blocks (FB) for process control”), примерами второго типа – стандарт IEC61850 (“Communication networks and systems in substations”), ориентированный на применение в энергетике, и его версии, адаптированные к более узким сегментам рынка, такие как IEC 62445-2 (“Use of IEC 61850 for the communication between control centers and substations”) и IEC 61400-25-2 (“Wind turbines - Part 25-2: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models”).

Стандарт IEC61499 создавался как основа для создания распределенных приложений для контроллеров и развивал давно принятый инженерным сообществом стандарт IEC 61131-3.

Работа по разработке стандарта IEC61499 велась в рамках международной электротехнической комиссии МЭК (IEC, International Electrotechnical Commission) в рабочей группе WG63 технического комитета TC65. Обсуждение будущего стандарта IEC61499 началось в октябре 1990 года, активная работа над ним – в марте 1992 года, период апробации подготовленного проекта стандарта – в марте 2001 года и, наконец, завершение разработки – в 2005 году.

Стандарт IEC61850 [1, 2] является самой современной разработкой в области коммуникационных технологий для систем управления в энергетике. Он значительно облегчает интеграцию в единую энергетическую систему устройств различных производителей и разных поколений, позволяет сделать это с наименьшими трудовыми и финансовыми затратами. Применяя IEC61850, можно реализовать все функции управления и автоматизации на подстанциях. IEC61850 начал разрабатываться в 1995 году и состоит из 10 частей, рассматривающих различные аспекты построения распределенных систем управления подстанциями (общие требования, требования к системе управления, средствам связи и интеллектуальным электронным устройствам, языку конфигурирования подстанций и другие).

Многие ученые находят ряд близких концептуальных идей в IEC61850 и IEC61499 [3] и поэтому предлагают использовать инструментальные средства, поддерживающие IEC61499, для реализации подходов, предлагаемых в IEC61850 [4, 5]. Такой пример приведен, например, в статье [5] (рис. 1). В частности, с помощью IEC61499 достаточно просто можно реализовать поддержку таких механизмов IEC61850, как шина процесса и шина станции.

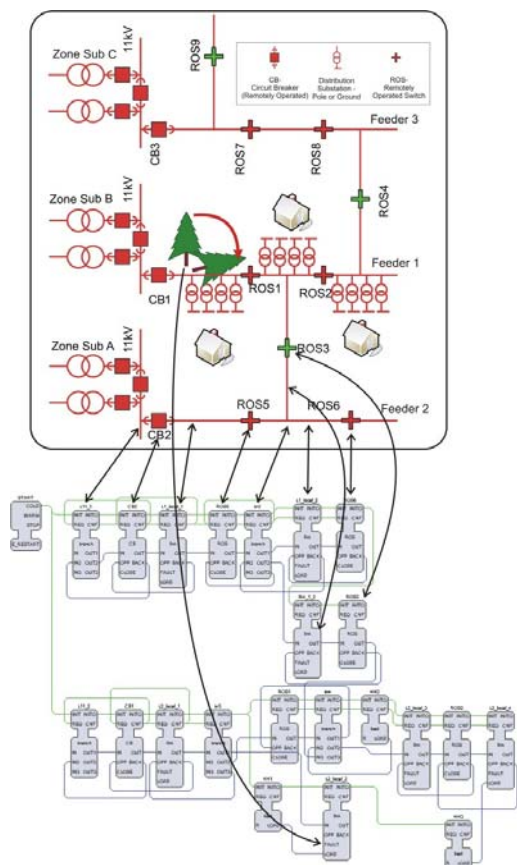


Рис. 1. Пример реализации некоторых механизмов IEC61850 с помощью функциональных блоков IEC61499

Стандарт IEC61499 разделен на четыре части, но реализация стандарта IEC61499 в ISaGRAF 5 основывается на первой и второй частях стандарта:

- Часть 1. Архитектура и функциональные блоки.
- Часть 2. Требования к программным средствам.

Среда программирования контроллеров ISaGRAF 5 компании ICS Triplex ([www.icstriplex.com](http://www.icstriplex.com)) стала первой коммерческой системой в мире, в которой был реализован стандарт IEC61499, о полном соответствии которому независимой компанией TÜV Rheinland 10 июля 2007 года был выдан официальный сертификат. Соответствующий список документов по сертификации ISaGRAF 5 доступен на сайте компании TÜV Rheinland (<http://www.tuvdotcom.com>).

Стандарт IEC61499 определяет РАСПРЕДЕЛЕННУЮ, УПРАВЛЯЕМУЮ СОБЫТИЯМИ архитектуру и требования к программному инструментарию для инкапсуляции, встраивания, развертывания и интеграции программного обеспечения в интеллектуальных устройствах, машинах и системах. В основу проекта были положены такие стандарты, как IEC61131-3 и IEC61158 (Fieldbus). Весьма полезным документом при знакомстве со стандартом IEC61499 является сборник ответов на наиболее часто задаваемые вопросы по этому стандарту [6].

Стандарт IEC61499 определяет распределенную модель как разбиение различных частей промышленного процесса автоматизации и сложной системы управления на модули, называемые функциональными блоками. Эти функциональные блоки могут распределяться и взаимодействовать по коммуникационной сети через множество контроллеров. Приложение становится распределенным путем размещения экземпляров функциональных блоков на различных ресурсах в одном или более устройствах. Функциональные блоки являются атомарными элементами распределения. Приложение со многими функциональными блоками отображается как один элемент, хотя экземпляры функциональных блоков распределяются по ресурсам и устройствам. Ключевой особенностью функциональных блоков IEC61499 является управление ими с помощью внешних событий, а не только с помощью входных данных.

На рис. 2 показан пример: система управления, имеющая много устройств, соединенных вместе с помощью управляющей коммуникационной сети. Также на рис. 2 показаны приложения, распределенные по нескольким устройствам.

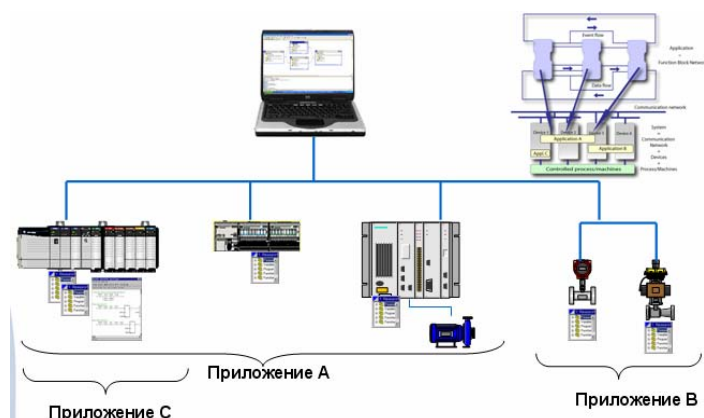


Рис. 2. Пример системы управления с распределенными приложениями

Многие устройства соединяются вместе через коммуникационную сеть. В ISaGRAF устройство – это аппаратное средство (контроллер), способное выполнять цикл управления, имеющее процессор, память и которое также может быть присоединено к коммуникационной сети. Устройства решают задачу управления или измерения и могут быть в составе интеллектуального исполнительного механизма, такого как клапан или расходомер. Любая полевая шина может работать как коммуникационная сеть. Среди часто используемых полевых шин (протоколов) – Profibus, DeviceNet, Industrial Ethernet.

### Архитектура распределенных приложений в соответствии с IEC61499

Приложение может содержать один или более циклов управления. Например, ввод данных выполняется на одном устройстве, управление – на втором и преобразование выходных данных – на третьем устройстве. Эти совместные циклы управления разделяют данные предсказуемым и детерминированным образом, описанном в стандарте IEC61499. Стандарт IEC61499 вводит следующие понятия:

*System (Система)*: набор устройств, связанных и взаимодействующих друг с другом посредством коммуникационной сети, состоящей из сегментов и соединений.

*Device (Устройство)*: независимая физическая единица, способная к выполнению одной или более определенных функций в конкретном контексте и ограниченная интерфейсами устройства.

*Resource (Ресурс)*: функциональная единица, имеющая независимое управление его работой, которое обеспечивает различные сервисы для приложений, включая планирование и выполнение алгоритмов.

*Application (Приложение)*: программная функциональная единица, которая является специфичной для решения проблемы в системе управления и измерения. Приложения могут быть распределены между устройствами и могут взаимодействовать с другими приложениями.

*Function block (Функциональный блок, ФБ)*: программная функциональная единица, которая является наименьшим элементом в распределенной системе управления. Функциональный блок использует машину состояний (state machine) с диаграммой управления выполнением (execution control chart - ECC) для задания алгоритма работы ФБ.

На рис. 3 показана распределенная модель системы в соответствии со стандартом IEC61499.



Рис. 3. Общая диаграмма системы в стандарте IEC61499

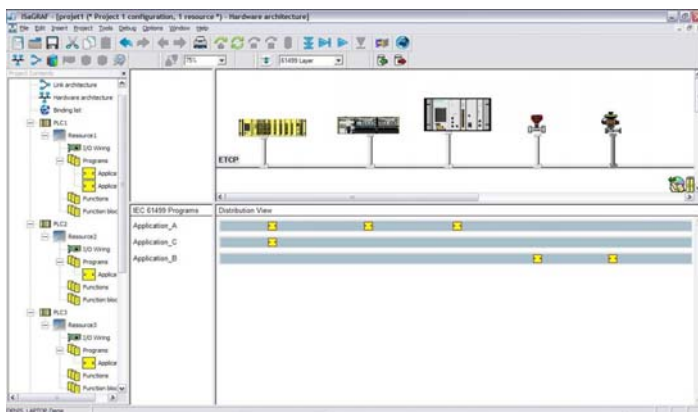


Рис. 4. Представление распределенного приложения ISaGRAF в виде Модели Системы

В ISaGRAF каждая система может быть распределенной, и это может быть показано средствами ISaGRAF с различных точек зрения. Например, может быть показана Модель Системы, как на рис. 4. Все пиктограммы функциональных блоков (желтые символы) справа от имени приложения указывают на распределение по устройствам. Пиктограмма, показанная ниже устройства, означает, что программа имеет часть, выполняющуюся в этом устройстве. Отсутствие пиктограммы ниже устройства означает, что программа не имеет части, выполняющейся на этом устройстве. Коммуникационная сеть соединяет вместе устройства, которые являются частью распределенной системы. Коммуникационная сеть отображается в ISaGRAF, если она сконфигурирована в системе. Причем часть устройств могут использовать одну коммуникационную сеть, в то время как другие устройства – другую сеть. На рис. 4 в качестве коммуникационной сети выступает Ethernet. Элементы ISaGRAF используют коммуникационную сеть в прозрачном режиме. При построении и компиляции приложения генерируются все требуемые для связи параметры.

Рис. 4 показывает систему, состоящую из устройств, коммуникационной сети и приложений в виде Модели Системы в ISaGRAF. Приложение Application\_A имеет части, работающие на первом, втором и третьем устройствах. Приложение Application\_B имеет части, выполняемые на двух последних устройствах системы. Приложение Application\_C работает только на первом устройстве. Каждая часть Application\_A обменивается соответствующей информацией через коммуникационную сеть. Аналогично и для Application\_B.

В представлении в виде Модели Системы двойной клик на приложении отображает его схематический вид. Схематический вид – это Модель Приложения (рис. 5). В этом виде нет границ устройств. Это одна общая схема для распределенного приложения.

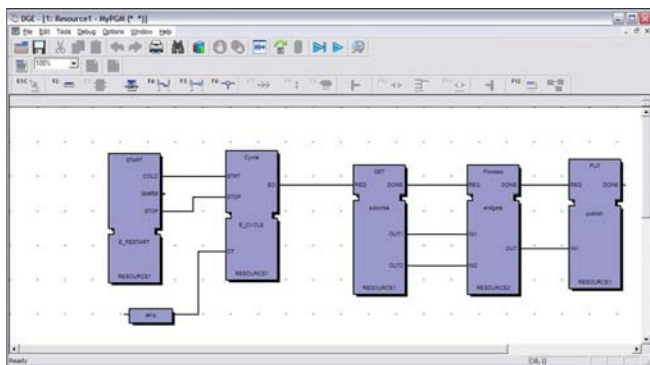


Рис. 5. Представление Модели Приложения в ISaGRAF в соответствии с IEC61499

Каждому функциональному блоку в приложении может присваиваться ресурс, который одновременно присваивается и устройству.

Событие и сигналы данных между функциональными блоками очень просто рисовать. Генератор распределения ISaGRAF создает все требуемые связи между этими сигналами. Эти связи обмениваются информацией прозрачно по коммуникационному интерфейсу. Средства ISaGRAF заботятся обо всех аспектах распределения приложения. В частности, в коммуникационный интерфейс и в алгоритм выполнения добавляются задержки, которые должны браться в расчет во время проектирования распределенного приложения.

### Новый тип функциональных блоков в стандарте IEC61499

Прежде всего вспомним, как определяются функциональные блоки в стандарте IEC61131-3 (рис. 6). В IEC61131-3 функциональный блок имеет входные и выходные переменные. Входные переменные отображаются слева от ФБ, выходные – справа. Определен целый ряд стандартных (элементарных) функциональных блоков для различных типов данных. Алгоритм для стандартных функциональных блоков жестко фиксирован, и сами стандартные ФБ составляют библиотеку стандартных функциональных блоков ISaGRAF. Пользователь может создать свой собственный функциональный блок, определив его входные и выходные переменные, а также написав алгоритм преобразования входных переменных в выходные на определенном языке IEC61131-3 (например, языке структурного текста ST). В Приложении D стандарта IEC61499 описано преобразование функциональных блоков IEC61131-3 в IEC61499. Такой пример преобразования приведен на рис. 6.

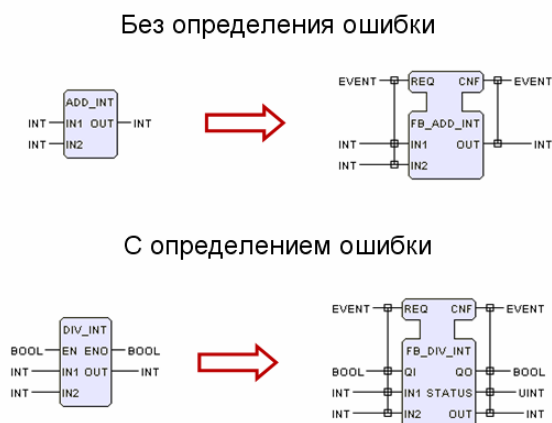


Рис. 6. Пример функционального блока в IEC61131-3 (слева) и его преобразования в ФБ IEC61499 (справа)

### Функциональные блоки IEC61499

Различают базовые и композиционные функциональные блоки IEC61499. Композиционные функциональные блоки – это набор базовых функциональных блоков IEC61499. Для определения базового

функционального блока IEC61499 надо задать следующие элементы: входные и выходные переменные, входные и выходные события, диаграмму управления выполнением (ECC – Execution Control Chart) и собственно алгоритм блока. Диаграмма управления выполнением – это описание реакций на внешние воздействия, в котором задается, что именно нужно сделать, если произошло конкретное событие. Входные события инициируют и управляют выполнением функционального блока IEC61499. Помимо внешних (входных) событий указывается (при необходимости), какие события будут генерироваться при окончании выполнения функций-обработчиков. Наиболее удобным языком для создания диаграмм управления выполнением является SFC (язык последовательных функциональных схем). Для описания алгоритма преобразования входных данных в выходные (алгоритма блока) используются языки стандарта IEC61131-3 (FBD, SFC, LD, ST, IL) и те же типы данных, что в IEC61131-3.

Процесс выполнения функционального блока IEC61499 описывается следующим образом на основе анализа диаграммы управления выполнением.

- Инициализация и вызов экземпляра для проверки входного события.
- Проверка на появление События.
- Выполнение алгоритма функционального блока.
- Генерация выходного события.

В стандарте IEC61499 определены 18 типов функциональных блоков: расщепление события, слияние, рандеву двух событий, разрешающее распространение события, выбор между двумя событиями, переключение событий, задержка событий и другие. ISaGRAF 5 поддерживает все типы функциональных блоков IEC61499.

## **Реализация контроллеров на базе ISaGRAF 5 с поддержкой стандарта IEC61499**

Компания ICS Triplex провела экспериментальную проверку реализации стандарта IEC61499 в ISaGRAF. Для этого использовались 72 низко стоимостных контроллера NetBurner MOD5272-100CR (с микропроцессором Motorola ColdFire 5272), смонтированных в три группы. Каждый микроконтроллер оборудовался двумя кнопками и 2 переключателями в качестве входных сигналов и двумя зелеными и желтыми лампочками в качестве выходных сигналов. Эти контроллеры имеют Ethernet вход и выполняются под управлением операционной системы  $\mu$ C/OS. ISaGRAF был портирован на эти контроллеры, и все коммуникации осуществлялись через TCP/IP. Для убедительной демонстрации было разработано три приложения [6]. Все приложения использовали одни и те же аппаратные средства, описанные выше. Это были следующие приложения:

- приложение по распространению сигнала – оно использовалось для измерения распространения сигнала и данных в приложении;
- приложение симуляции поезда – это приложение использовалось для демонстрации использования базовых и композиционных функциональных блоков IEC61499 в симуляторе реальной системы;
- приложение “оркестр” – оно демонстрировало мощь и гибкость IEC61499 в условиях реального мира.

Подробные результаты эксперимента изложены в статье [7]. Общий вывод по результатам тестирования показал следующее: реализация в ISaGRAF 5 стандарта IEC61499 позволяет использовать его для построения распределенных приложений в системах с большим числом контроллеров, давая в руки разработчиков очень мощное и гибкое программное средство, каким является ISaGRAF. На сегодняшний день в мире не существует другого аналогичного по своей функциональности программного средства программирования распределенных приложений в среде контроллеров.

Стандарт IEC61499 стал долгожданным решением при создании распределенных систем управления и как результат быстро набирает популярность среди производителей контроллеров и первую очередь – на базе ISaGRAF 5. Первым в мире контроллером на основе ISaGRAF 5, в котором поддерживаются одновременно IEC61131 и IEC61499, стал контроллер Kingfisher PLUS+RTU компании RTUnet (Австралия, <http://www.rtunet.com/products/kingfisher-plus>) (рис. 7).



Рис. 7. Первый в мире контроллер Kingfisher PLUS+RTU, поддерживающий одновременно IEC61131 и IEC61499 и использующий ISaGRAF 5.

Другим примером реализации контроллера с поддержкой ISaGRAF 5 и стандарта IEC61499 (<http://www.isagraf.com/pages/newsletter/july2007.htm>) являются встраиваемые web-контроллеры серии BECK IPC@CHIP SC123/SC143 компании Beck IPC GmbH (<http://www.beck-ipc.com>) (рис. 8).

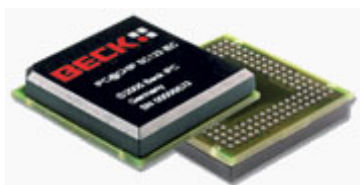


Рис. 8. Встраиваемый web-контроллер BECK IPC@CHIP SC123 с поддержкой ISaGRAF 5 и IEC61499

Недавно компания SIXNET (США, <http://www.sixnetio.com>) объявила о реализации в своих новых контроллерах SixTRAK IPm целевой задачи ISaGRAF 5 SCS (Scalable Control Systems) с поддержкой IEC61499 в среде операционной системы Linux. SixTRAK IPm (рис. 9) построен на базе процессора PowerPC, имеет 64 Мбайт ОЗУ, 128 Мбайт флэш-диск, до 5 портов Ethernet, до 640 локальных каналов ввода/вывода и до 50,000 (?) каналов для распределенного ввода/вывода.

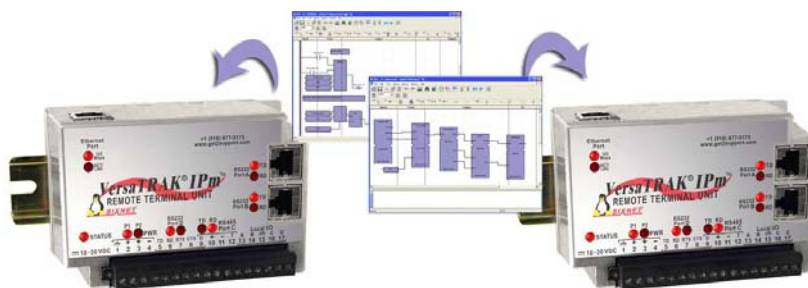


Рис. 9. Контроллер SixTRAK IPm компании SIXNET с поддержкой ISaGRAF 5 и IEC61499

И, наконец, следует более подробно остановиться на Linux-контроллерах нового поколения LinPAC-8000 (рис. 10) тайваньской компании ICP-DAS (выпущенных в третьем квартале 2008 года). Благодаря усилиям специалистов компаний из Санкт-Петербурга “ФИОРД” и “Ниеншанц-Автоматика” для LinPAC-8000 реализована поддержка ISaGRAF 5. Исполнительная система контроллеров LinPAC, содержащих лицензионное исполнительное ядро ISaGRAF5++ ACE Target (разработка компании “ФИОРД”), поддерживает драйверы для встраиваемых модулей ввода/вывода серий I-8000 и I-87000, драйверы DCON-протокола (для обмена с внешними модулями серии I-7000), драйверы протоколов ModBus RTU/TCP Master/Slave, систему ведения локальных архивов. Одной из самых интересных новинок контроллеров LinPAC-8000 с установленной исполнительной системой ISaGRAF5++ ACE Target является возможность создавать локальные графические приложения. Система ISaGUI предназначена для обеспечения интерактивного графического отображения данных реального времени непосредственно в исполнительной

системе ISaGRAF 5++ ACE Target. Система реализована в виде виртуального устройства ISaGRAF и пакета специальных функций, встроенных в ISaGRAF 5 Workbench. Для проектирования графического интерфейса используется редактор графического интерфейса GLADE, который может работать как в Linux, так и в Windows.

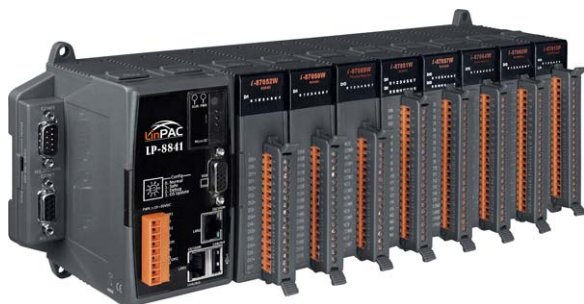


Рис. 10. Контроллер LinPAC-8000 со встроенной целевой системой ISaGRAF 5++ ACE Target

Еще одним примером контроллера с ISaGRAF 5++ ACE Target является “умный” многофункциональный коммуникационный контроллер серии UC-7400 (рис. 11) компании MOXA, предназначенный для организации взаимодействия оборудования, имеющего различные интерфейсы связи, сбора данных и управления удаленными модулями ввода/вывода, ведения локальных архивов, высокоскоростной обработки информации. Контроллеры серии UC-7400 построены на RISC-процессоре Intel XScale IXP-422 с частотой 266 МГц, имеют 128 Мб RAM и оснащены широким набором интерфейсов: 8xRS-232/422/485, USB 2.0 и USB 1.1, 2xEthernet 10/100 Мбит/с, PCMCIA для подключения карт беспроводного Ethernet (опционально), CompactFlash. В качестве HMI-устройств предусмотрены ЖКИ дисплей 160x64 точек и 5 клавиш клавиатуры. Контроллеры серии UC-7400 включают в себя предустановленную операционную систему MontaVista Linux, лицензионное исполнительное ядро ISaGRAF5++ ACE Target с драйверами протоколов ModBus RTU/TCP Master/Slave, систему ведения локальных архивов.



Рис. 11. ISaGRAF-контроллеры серии UC-7400

### **Заключение: особенности и преимущества стандарта IEC61499**

В заключение еще раз хотелось бы в сжатой форме сформулировать основные особенности и преимущества стандарта IEC61499 и ISaGRAF-контроллеров на его основе.

- Контролирует поток решений при управлении распределенной системой.
- Гарантирует целостность распределенного приложения.
- Обеспечивает целостность и непротиворечивость данных.
- Предоставляет средства, гарантирующие надежную синхронную работу устройств.
- Устраняет потребность в отдельных схемах синхронизации алгоритмов.
- Значительно облегчает разработку надежных систем управления.
- Существенно облегчает обслуживание распределенных систем управления.
- Предоставляет механизм для распределения приложения и контроля за его выполнением в системах со многими устройствами.

Без сомнения, использование ISaGRAF-контроллеров дает разработчикам инструмент мирового уровня, методологию нового поколения для создания крупномасштабных распределенных систем управления. Это особенно важно, если учитывать тот факт, что ISaGRAF реально претендует на то, чтобы стать основой для реализации и практического внедрения нового стандарта в энергетике IEC61850.

*Алексей Колтунцев – коммерческий директор, Сергей Золотарев – канд. техн. наук, ведущий эксперт,*



компания "ФИОРД".  
Телефон: (812) 323-62-12.  
E-mail: alex@fiord.com, zolotarev@fiord.com

#### Список литературы

1. Drew Baigent, Mark Adamiak, Ralph Mackiewicz, IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations: An Overview for Users.
2. J. Curk "Standard IEC 61850 opens possibility to develop new more efficient architectures of substation automation and protection systems" (Cigre 2006, Paris, August 2006).
3. Rogerio Dias Paulo (EFACEC Engenharia, S.A., Portugal), Functional Integration in Substation Automation Systems: System Tools and Interoperability.
4. Karlheinz Schwarz , IEC 61850 beyond Substations – The Standard for the whole Energy Supply System.
5. Neil Higgins, Valeriy Vyatkin, Nirmal-Kumar C Nair and Karlheinz Schwarz , Distributed Power System Automation with IEC 61850, IEC 61499 and Intelligent Control.
6. IEC 61499 Frequently Asked Questions.  
[www.isagraf.com/pages/documentation/IEC%2061499%20FAQs.pdf](http://www.isagraf.com/pages/documentation/IEC%2061499%20FAQs.pdf)
7. Julien Chouinard, An IEC 61499 configuration with 70 controllers; challenges, benefits and a discussion on technical decisions, [http://www.icstriplex.ca/pages/documentation/ETFA07\\_SS1\\_Final17Oct2007.pdf](http://www.icstriplex.ca/pages/documentation/ETFA07_SS1_Final17Oct2007.pdf)