



Обзор решений на базе Ethernet-APL

Максим Рафальсон

Ethernet Advanced Physical Layer – технология, которая обеспечивает усовершенствованный физический уровень передачи данных в сетях Ethernet. Технология Ethernet-APL предназначена для автоматизации технологических процессов в сложных производственных средах, таких как химическая, нефтегазовая, фармацевтическая и другие отрасли. Для реализации технологии Ethernet-APL используются совместимые устройства: полевые устройства (датчики, исполнительные механизмы) и коммутаторы Ethernet-APL для сетевой коммуникации.

Ethernet-APL базе стандарта 10BASE-T1L

Прежде чем перейти к описанию стандарта Ethernet-APL, позволим небольшую предысторию.

Это был 2021 год. Время, когда трава казалась зеленее, мы – моложе, а ковид и прочие напасти ещё не успели прочно поселиться в наших буднях. Где-то далеко за Полярным кругом шёл запуск очередной версии уровнемера. Если не вдаваться в технические детали, то ключевым «апгрейдом» модели стал разъём RJ-45.

Обратная связь от специалиста КИП, который в -40°C на 15-метровой высоте пытался обжать этот разъём, была... скажем так, особо выразительной. Настолько, что вопрос поиска более надёжного решения для промышленной связи показался крайне важным.

К счастью, в тот момент Analog Devices, Inc., американская компания, специализирующаяся на технологиях преобразования данных, обработки сигналов и управления питанием, как раз представила свой чип ADIN1100 – и перед нами открылись новые горизонты.

Чип ADIN1100 представляет собой специально разработанный для промышленного применения малопотребляющий приёмопередатчик Ethernet 10BASE-T1L, соответствующий стандарту IEEE 802.3cg для передачи данных на большие расстояния со скоростью 10 Мбит/с по одной паре проводов.

Итак, давайте начнём с определения Ethernet-APL.

Ethernet-APL (Advanced Physical Layer) – это стандарт физического уровня Ethernet (IEEE 802.3cg), разработанный для промышленной автоматизации. Он обеспечивает:

- двухпроводную передачу данных (10BASE-T1L) со скоростью 10 Мбит/с;

- питание через линию связи Power over Data Line (PoDL);
- расстояние передачи данных до 1200–1500 метров;
- искробезопасность во взрывоопасных зонах (Ex ia-защита) в соответствии со стандартом IEC 60079-11:2011.

Структурная схема стандарта Ethernet-APL представлена на рис. 1. В качестве

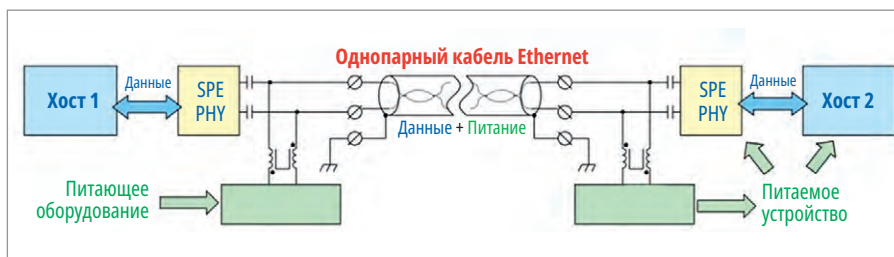


Рис. 1. Структурная схема стандарта Ethernet-APL

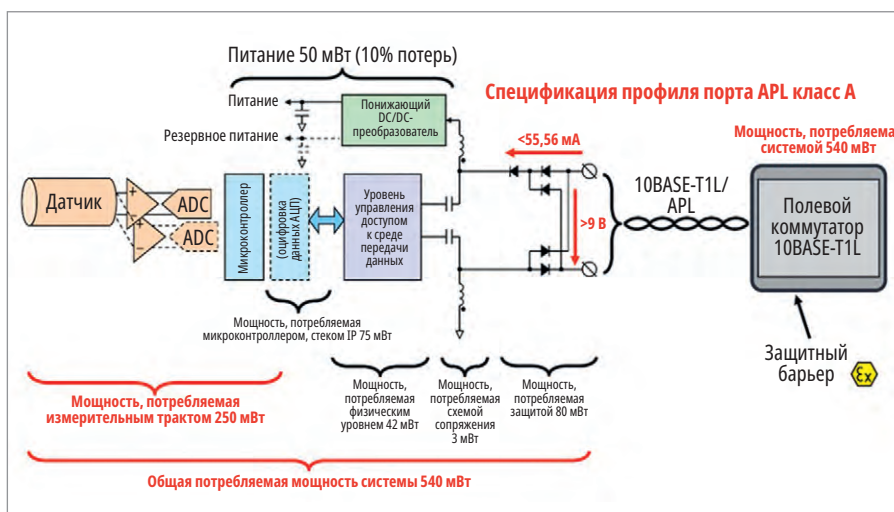


Рис. 2. Структура сенсора типового датчика с поддержкой APL

хоста может быть использован любой процессор, поддерживающий RMI (RGMII), в качестве микросхемы физики SPE PHY используется чип ADIN1100 или его аналог DP83TD510E (производства Texas Instruments).

Разработчикам остаётся лишь рассчитать и продумать необходимую систему фильтров в зависимости от поддерживаемого регламентированного стандарта мощности в диапазоне от искробезопасной до 70W.

Сам стандарт Ethernet-APL поддерживает искробезопасное подключение датчиков. Следует отметить, что на текущий момент все ведущие производители КИП практически лавинообразно расширяют свою продуктовую линейку датчиками с поддержкой APL. Могут предположить, что в перспективе ближайших 5–10 лет произойдёт плавное вытеснение датчиков 4–20 мА / 24 В (HART).

На рис. 2 представлена структура сенсора типового датчика с поддержкой APL. С точки зрения энергопотребления он практически ничем не отличается от привычных 4...20 мА / 24 В, но отсутствие необходимости задумываться о полярности и скорость соединения сильно и приятно удивят пользователей «современных» AMS систем.

Что касается правой части рис. 2: помимо наших собственных разработок, на рынке стали появляться APL-коммутаторы производства Stahl, Phoenix, Siemens и пр., причём разработанные именно для полевого использования.

Основным преимуществом стандарта Ethernet-APL является то, что объединение производственных и административных объектов в единую сеть Ethernet создаёт возможность IP-адресации для любого конечного узлового устройства из любой точки мира в любое время.

Прозрачная IP-адресация каждого устройства полевого уровня значительно упрощает установку, настройку и обслуживание решений, подключённых к сети 10BASE-T1L. Стандарты Ethernet гарантируют, что все устройства 10BASE-T1L могут использовать промышленные протоколы связи, такие как PROFINET, EtherNet/IP, HART/IP, OPC UA/TM или MODBUS/TCP, и поддерживать протоколы IoT.

Стандарт IEC61499 и 4diac

Давайте попробуем смешать стандарт IEC 61499 и 4diac и хорошенько взболтать, и чтоб разобраться, что за напиток у нас получается, более под-

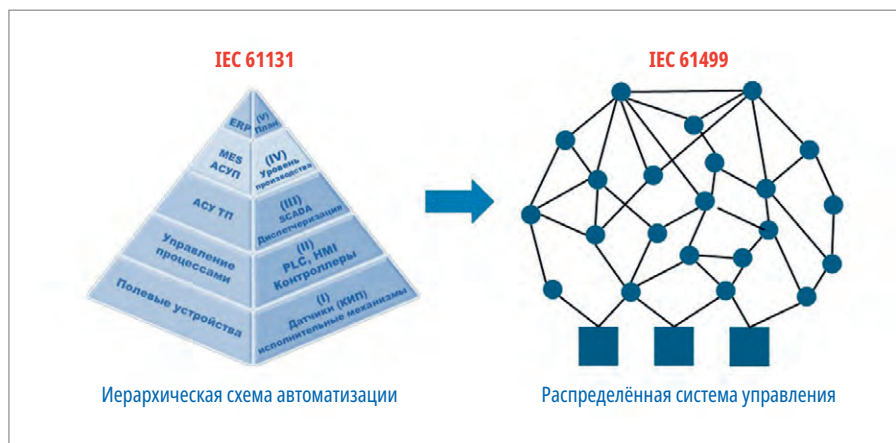


Рис. 3. Различия между стандартами IEC 61131 и IEC 61499

робно остановимся на основных ингредиентах.

В сущности, основные ингредиенты – стандарт и программный продукт, – это две абсолютно разные вещи, но в нашем случае для более лёгкого понимания удобно рассматривать их вместе.

На просторах всемирного разума достаточно информации касательно стандарта IEC 61499. Он фактически является продолжением стандарта IEC 61131 и придуман для построения распределённых систем управления.

На рис. 3 продемонстрирована принципиальная разница между стандартами IEC 61131 и IEC 61499. Стандарт IEC 61131 имеет строго иерархическую структуру построения: один процессор (дублированный или нет), на который или по цифровым каналам, и/или физическим сигналам корзины попадает вся информация о процессе. Далее различным инструментарием вендора на одном из 5 языков программирования происходит разработка циклического приложения.

Уверен, у большинства читающих этот текст имеется огромный опыт построения различных систем в данном формате в различных отраслях народного хозяйства.

В чём же принципиальное отличие стандарта IEC 61499? Вследствие прогресса в развитии промышленных сетей, сделавшего огромный скачок за последние 10–15 лет, вполне логично возник вопрос о возможности построения систем управления с распределённым центром на несколько процессоров, причём работающих под различными операционными системами, от FreeRTOS до Windows.

Основными принципами стандарта IEC 61499 являются:

- распределение задач автоматизации посредством Ethernet соединения на

неограниченное количество процессоров. Таким образом вы можете распределять вычислительную нагрузку на систему целиком, например, простейшую логику управления алгоритмом на месте делает локальный контроллер, а оптимизацию параметров – установок регуляторов, интервальных задержек и прочие алгоритмы посложнее – вычисляет более производительная машина;

- событийная модель реализации алгоритма. То есть блоки выполняются не по циклу, а когда это необходимо (например, пришёл сигнал – сработал блок);
- блочная структура написания кода управления (с диаграммной моделью управления событиями). В данной структуре код управления может задаваться каждому блоку по отдельности.

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.

Основной целью разработки стандарта IEC 61499 была необходимость решить проблемы гибкости и создания распределённой системы в автоматизации. Но долгое время он оставался «на бумаге», на взгляд автора, по ряду причин.

Вот основные из них:

- отсутствие нормальных распределённых Ethernet-сетей. В реалиях того времени тянуть витую пару даль-

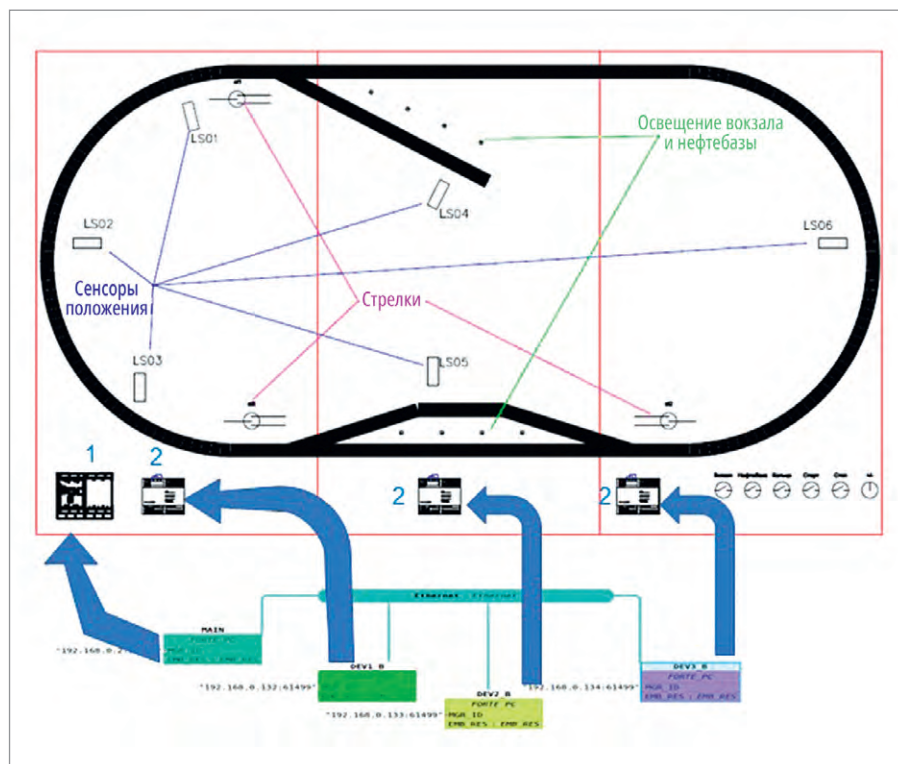


Рис. 4. Структурная схема железной дороги

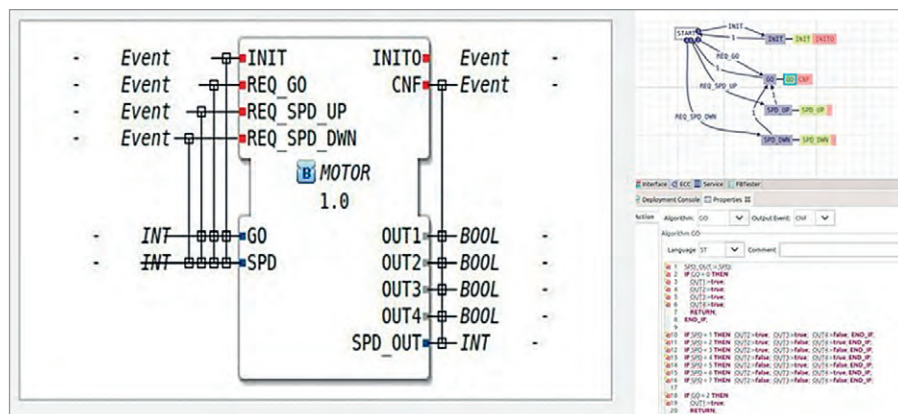


Рис. 5. Функциональный блок управления скоростью поезда



Рис. 6. Общий вид железной дороги

ше 100–150 метров не представлялось возможным. В то же время устанавливать кучу процессоров для промышленных объектов в одном помещении, согласитесь, выглядит несколько странно. С учётом гонки производительности Intel, AMD и прочих брендов было удобнее оставаться в рамках стандарта IEC 61131;

- консервативность ведущих вендоров. Зачем что-то менять в процессе, если и так всё работает?

С последней проблемой блестяще справилась команда разработчиков, (включая авторов стандарта!), создав 4diac – бесплатную «open source» платформу, которая показывает, как стандарт IEC 61499 должен работать в реальной жизни, и сделала её доступной для производителей «железа», таких как мы.

Практическое применение стандарта IEC61499, 10BASE-T1L и 4diac

Давайте познакомимся с 4diac поближе. 4diac состоит из двух программных модулей – это 4diac IDE на базе Eclipse и 4diac Forte.

4diac Forte – исполнительная часть программы, работающая на удалённых машинах.

4diac IDE – среда разработки для моделирования распределённых приложений управления.

В качестве «Hello World» предлагаю рассмотреть проект железной дороги. Что нам понадобится:

- 4diac;
- коммутатор Insol NODE – 1 шт.;
- удалённые модули Insol-1000 – 3 шт.;
- модель железной дороги от Piko – 1 шт.

Структурная схема железной дороги с указанием функциональных блоков представлена на рис. 4, где (1) – коммутатор Insol NODE, (2) – удалённые модули Insol-1000.

Каждый удалённый модуль Insol-1000 является функциональным блоком управления скоростью поезда на определённом сегменте железной дороги. Общий вид функционального блока с описанием алгоритма действий представлен на рис. 5.

В результате мы имеем распределённую между тремя контроллерами систему управления (рис. 6).

Как же это работает? Территориально железную дорогу разбили на 3 сегмента, каждому сегменту соответствует свой контроллер, который отвечает за сенсоры и исполнительные механизмы на его сегменте. Первый контроллер отвечает за стрелку въезда в депо и съезда с нефтебазы, второй контроллер – за скорость поезда, направление движения и освещение железной дороги, третий – за стрелку въезда на нефтебазу и кнопки команд, расположенные в правом нижнем углу на рис. 4. Коммутатор реализует общий алгоритм движения.

В сущности, в данной распределённой системе есть всё необходимое для комфортной работы, а именно:

- возможность отладки в режиме онлайн как всей системы целиком, так и на каждого отдельно стоящего контроллера;
- онлайн-наблюдения за прохождением сигналов;
- развёртывание всей системы целиком и каждого отдельно стоящего контроллера.

В описании стандарта IEC 61499 упоминалось, что он использует блочный принцип создания программ. Суть этого принципа с точки зрения исполнительной системы заключается в том, что набор доступных FB (функциональных блоков) в 4diac IDE и в исполнительной машине одинаков. После компиляции 4diac IDE генерирует XML-файл, в котором описывается, какие экземпляры функциональных блоков используются и как они связаны между собой.

Согласимся, что отличия в работе по сравнению с софтом на базе стандарта IEC 61131 вызывают некоторое замешательство для бывалых и не очень «асушников» и требуют ряда перестроек внутреннего алгоритма мышления при написании программ, но, на взгляд автора, общая структура более прозрачна и несёт огромное количество преимуществ, например:

- открытость системы, изначально заточенной под разработчиков «железа»;
- масштабируемость;
- переносимость системы вашего кода на разные платформы;
- совместимость с протоколом Ethernet-APL (10BaseT1L).

Решения и продукты ООО «Инсол»

Основным направлением разработки продуктов «Инсол» является производство оборудования, «заточенного» под требования IEC 61499 и 4diac, это в том числе производство сетевого оборудования с поддержкой Ethernet-APL. Примеры сетевого оборудования производства ООО «Инсол» приведены в табл. 1.

Внешний вид сетевого оборудования приведён на рис. 7.

В чём же преимущества сетевого оборудования производства «Инсол»? Рассмотрим пример типового решения для камер видеонаблюдения (рис. 8) и решение с удлинителем Ethernet-APL (рис. 9).

Мы видим, что благодаря сетевым решениям на основе Ethernet-APL есть возможность без дополнительных затрат увеличить расстояние между камерами видеонаблюдения до 1000 метров.

Оборудование для реализации стандарта IEC 61499

Мы разобрались с тем, что IEC 61499 – это неограниченное множество вычислительных узлов, объединённых в одну сеть. Мы разобрались, как строить сети на базе Ethernet-APL. Давайте рассмотрим решения по этим узлам и как

Таблица 1. Виды сетевого оборудования

Вид	Наименование	Характеристики	Количество портов
Коммутаторы неуправляемые Ethernet-APL	INSOL Switch (15/30/40)	1×SFP – 100 Мбит, 2×RJ45 – 100 Мбит (1POE)	3×10BT1L (PODI OUT)
	INSOL Switch (15/30/40)		6×10BT1L (PODI OUT)
	INSOL Switch (15/30/40)		10×10BT1L (PODI OUT)
Медиаконвертеры и повторители интерфейса Ethernet-APL	MC30-DIN (15/30)	1×RJ45 – (10BT1L + PODL out)	
	MC31-DIN	1×RJ45 (POE-OUT) – 10×BASET1L (PODL in)	
	MC31-outdoor	1×RJ45 (POE-OUT) – 10×BASET1L (PODL in)	
	MC32-outdoor (15/30) повторитель интерфейса	10×BASET1L (PODL in) – 10×BASET1L (PODL out)	

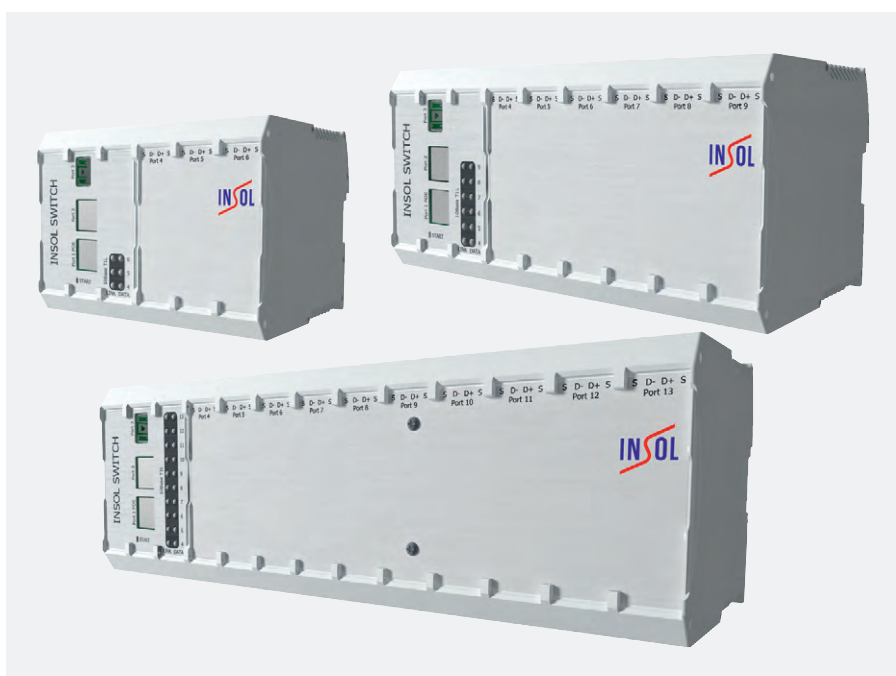


Рис. 7. Виды коммутаторов неуправляемых: (1) – INSOL Switch (15/30/40) V1; (2) – INSOL Switch (15/30/40) V2; (3) – INSOL Switch (15/30/40) V3

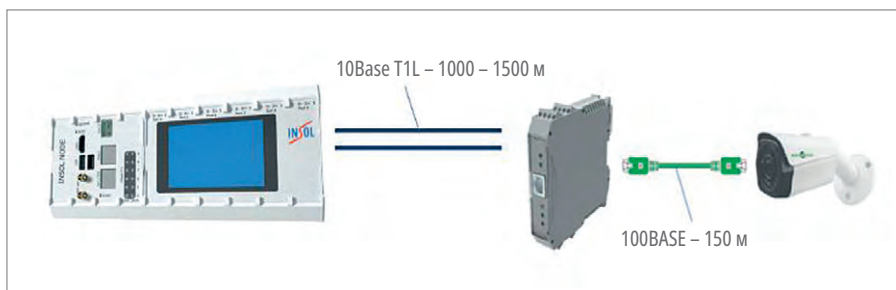


Рис. 8. Типовое решение для камер видеонаблюдения

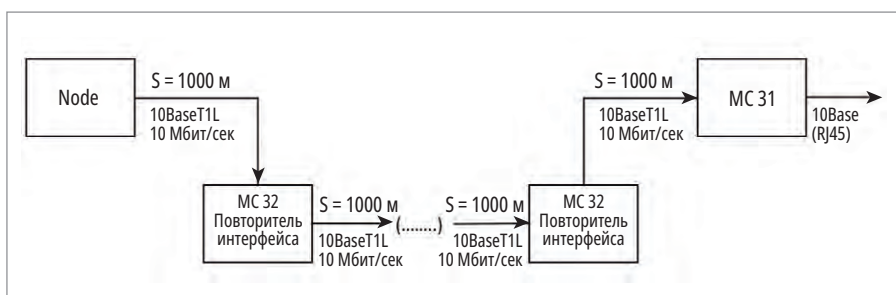


Рис. 9. Пример решения с удлинителем Ethernet-APL

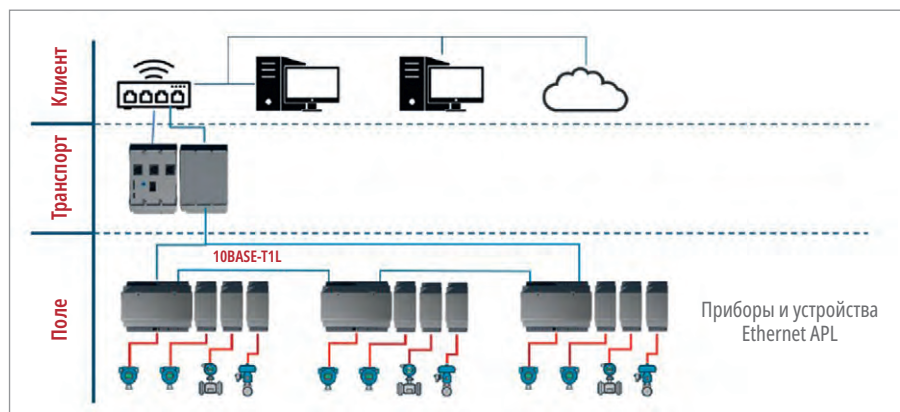


Рис. 10. Общая структура оборудования

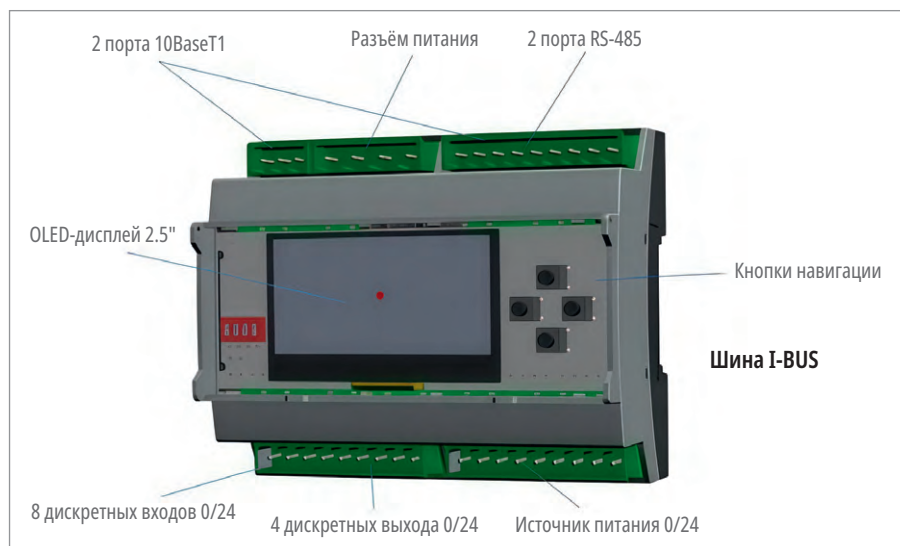


Рис. 11. Внешний вид модуля 1000 RCU

Таблица 2. Основные технические характеристики модуля 1000 RCU

Характеристика	Значение
Количество портов Ethernet 10BASE-T1L	2
Количество портов Modbus RS-485	2
Количество дискретных входов	8
Количество дискретных выходов	4
HMI	Индикация OLED 2,5"
	Настройка сетевых параметров и паролей доступа
ОС	FreeRTOS
CPU	STM32H
ОЗУ	16 MB SDRAM 16bitdata
FLESH	NOR 128Mbit
SD-Card	32 Гбайт

их можно структурировать на технологической площадке (рис. 10).

Начнём рассмотрение структуры снизу вверх. Основным «кирпичиком» нашей системы является процессорный модуль 1000 RCU.

Таблица 3. Описание модулей расширения

Наименование модуля	Обозначение	Показатели
Дискретный вывод	1001	8DO
Дискретный вход	1002	8DI
Аналоговый модуль	1003 4EXia	4Analog
Аналоговый модуль	1004	4Analog
Модуль локального питания	1051	БП-24
Локальный инжектор питания	1052	БП-24
Частотный вход	1005	8FI

Внешний вид модуля 1000 RCU представлен на рис. 11.

Модуль 1000 RCU является базовым модулем контроллера и представляет собой пластиковый корпус с печатными платами, с внешними разъёмами и

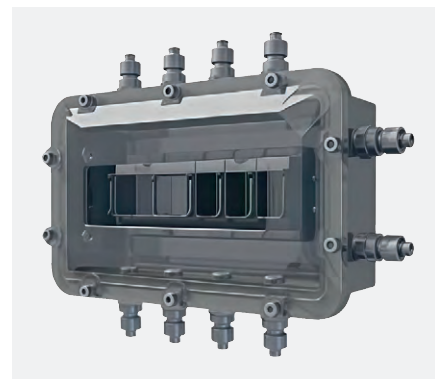


Рис. 12. Контроллер Insol-1000 Ex во взрывозащищённом корпусе

интерфейсами, а также жидкокристаллическим дисплеем. Основные технические характеристики модуля указаны в табл. 2. Также важными компонентами системы являются модули расширения. Описание модулей расширения приведено в табл. 3.

Одной из главных «фишек» 1000-й серии является то, что контроллеры можно соединять последовательно парой проводов, и эта «гирлянда» будет представлять единую локальную сеть с максимальной длиной одного сегмента до 1500 метров и внутренней скоростью передачи данных до 10 Мбит/с. Подключаете её к вашему компьютеру через медиаконвертер, и весь функционал 4diac в вашем распоряжении. На практике мы подключали контроллеры на расстоянии 3 км с заданными характеристиками.

Контроллер Insol-1000 – это сетевое устройство, предназначенное для подключения различных видов датчиков в общую систему управления через сеть Ethernet, удалённого сбора и обработки информации с подключённых датчиков, и управления ими путём передачи данных через соответствующие интерфейсы для выработки управляющих воздействий.

Контроллер применяется в различных системах сбора данных и управления, АСУ ТП промышленных предприятий, в системах безопасности и видеонаблюдения.

Контроллеры в пластиковом корпусе рекомендованы к применению в помещениях, пространствах электротехнических шкафов и отсеках промышленного оборудования вне взрывоопасных зон. Во взрывоопасных зонах применяется контроллер Insol-1000 Ex во взрывозащищённом корпусе (рис. 12).

Отличительными особенностями применения контроллера INSOL-1000 являются:

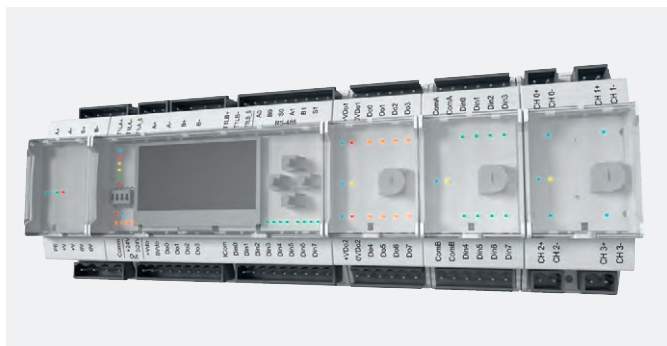


Рис. 13. Контроллер Insol-1000 в сборе

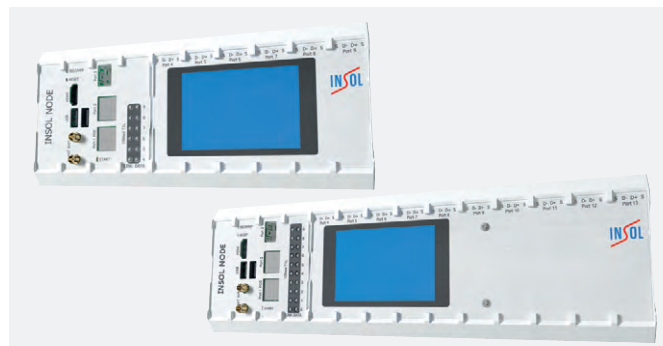


Рис. 14. Внешний вид Insol Node V1 (1) и V2 (2)

Таблица 4. Основные технические характеристики Insol Node

Характеристика	Значение
ОС	LINUX
ОЗУ	4G ROM +16G RAM
CPU	ROC 3399
HDD	256–512 Гбайт
USB	2
HDMI	1
Wifi	Есть

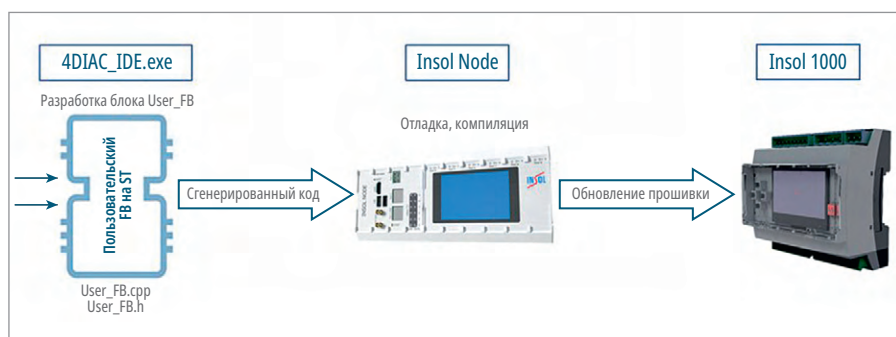


Рис. 15. Структура формирования, отладки и компиляции функциональных блоков

- работа в сети Ethernet по протоколу 10BASE-T1L;
- возможность последовательного и закольцованного подключения коммутаторов с расстоянием между устройствами до 1,5 км и скоростью передаваемых данных до 10 Мбит/с;
- использование технологии PoDL (Power over Data Line – Питание по линиям данных), то есть передача данных и питания по однопарному кабелю, что обеспечивает экономичное использование кабельной продукции;
- модульная конструкция, увеличение количества каналов путём присоединения модулей расширения (модулей ввода-вывода).

Питание контроллера может осуществляться:

- от удалённого источника номинальным напряжением 48 В посредством PoDL (Power over Data Line – питание по линиям данных), то есть непосредственно по витой паре, через которую передаются данные;
- от локальных источников 24...48 В при помощи модуля локального питания I1051;
- по PoDL и от локального источника одновременно (комбинированная схема подключения питания).

Обмен информацией между контроллером и сторонним оборудованием осуществляется по протоколам Modbus RTU (интерфейс RS-485), Modbus TCP, внутреннему протоколу INSOL NET.

Контроллер имеет встроенное программное обеспечение INSOL NET и предустановленную исполнительную среду системы 4diac forte. Программное обеспечение поставляется предустановленным в контроллер, имеет встроенный веб-интерфейс для удалённой настройки и диагностики через любой браузер и не требует для своего функционирования предустановки дополнительного программного обеспечения. Контроллер Insol-1000 в сборе с модулями расширения представлен на рис. 13.

Итак, далее поднимаемся по структуре (рис. 10). То, что у нас называется «уровнем транспорта», включает в себя кроме описанного выше коммутатора встроенный компьютер со следующими характеристиками.

Insol Node – это управляемый коммутатор, предназначенный для объединения в единую сеть устройств, построения распределённых систем сбора данных и управления АСУ ТП.

Внешний вид Insol Node представлен на рис. 14, а основные технические характеристики Insol Node указаны в табл. 4.

Кроме непосредственного запуска приложения 4diac Forte, причём сразу нескольких экземпляров, коммутатор имеет возможность отладки и компиляции пользовательских функциональных блоков. Структура формирования, отладки и компиляции функ-

циональных блоков представлена на рис. 15.

Этот инструментарий делает систему 4diac полнофункциональным инструментом АСУ ТП, позволяя конечному пользователю сэкономить время на разбирательстве с внутренними процедурами оборудования и системы, сосредоточившись непосредственно на разработке прикладного программного обеспечения.

Одним из важнейших по значимости инструментарием софта Node является опрос по протоколам, сбор данных от устройств (HTTP, ModBusTCP и т.п.) и сохранение в базе данных с предоставлением в формате данных OPC UA.

В функции программного обеспечения интегрирована SCADA-система от INSOL (на базе FUXA), что с минимальными затратами позволяет делать как визуализацию на простых HMI-панелях с поддержкой WEB, так и создание полноценной клиент-серверной структуры.

Заключение

Новые стандарты позволили автоматизации стать более гибкой в стремительно изменяющемся мире бизнеса. Использование оборудования и продуктов производства «ИНСОЛ» позволят заказчикам экономить на капитальных затратах (CAPEX), а также существенно снизить операционные расходы (OPEX). ●

Автор – директор ООО «ИНСОЛ»