

Обзор решений на базе Ethernet APL



В статье представлено сетевое оборудование InsoЛ, адаптированное к требованиям стандарта IEC 61499 и программной платформе 4diac™, в том числе сетевое оборудование с поддержкой Ethernet APL.

000 «ИНСОЛ», г. Уфа

Ethernet APL на базе 10BASE-T1L

Прежде чем перейти к описанию стандарта Ethernet APL, позволю себе рассказать небольшую предысторию.

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

Обратная связь от специалиста КИП, который в $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 15-метровой высоте пытался обжарить этот разъем, была... скажем так, особо выразительной. Настолько, что вопрос поиска более надежного решения для промышленной связи встал ребром. 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 мало-потребляющий приемопередатчик 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 начнем 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 м;
- ▶ искробезопасность во взрывоопасных зонах (защита Ex ia) в соответствии со стандартом IEC 60079-11:2011.

Структурная схема стандарта Ethernet APL представлена на рис. 1. В качестве хоста может быть использован любой процессор, поддерживающий RМII (RGMII), в качестве микросхемы физики SPE PHY используется чип ADIN1100 или его ана-

лог DP83TD510E (производства Texas Instruments). Разработчикам остается лишь рассчитать и продумать необходимую систему фильтров в зависимости от поддерживаемого регламентированного стандарта мощности в диапазоне от искробезопасной до 70 Вт.

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. Могу предположить, что в перспективе, в ближайшие 5–10 лет, произойдет 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 рисунка: помимо наших собственных разработок, на рынке стали появляться



Рис. 1. Структурная схема стандарта Ethernet APL (источник – сайт компании Analog Devices)

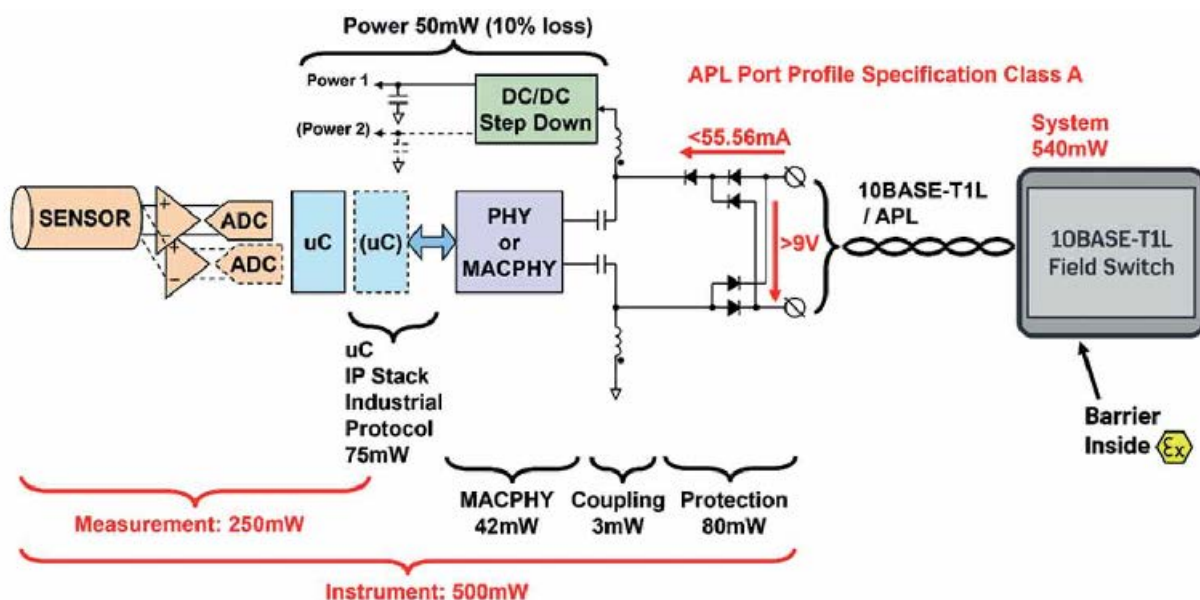


Рис. 2. Структура сенсора типowego датчика с поддержкой APL (источник – сайт компании Analog Devices)

APL-коммутаторы производства Stahl, Phoenix, Siemens и других производителей, причем разработанные именно для полевого исполнения.

Основным преимуществом стандарта Ethernet APL является то, что объединение производственных и административных объектов в единую сеть Ethernet создает 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, подключенных 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 или Modbus TCP, и поддерживать протоколы IoT.

Стандарт IEC 61499 и 4diac™

Давайте попробуем смешать стандарт IEC 61499 и 4diac и хорошенько взболтать. Чтобы разобраться, что за напиток у нас получается, более подробно остановимся на основных ингредиентах. В сущности, основные ингредиенты (стандарт и программный продукт) – это две абсолютно разные вещи, но в нашем случае для более легкого 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 распределенных 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, или (и) с помощью физических сигналов корзины попадает вся информация о процессе. Далее с применением различного инструментария 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 чем же принципиальное отличие стандарта IEC 61499? Вследствие развития промышленных сетей, которое

сделало огромный скачок за последние 10–15 лет, вполне логично возник вопрос о возможности построения систем управления с распределенным центром на несколько процессоров, причем 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;

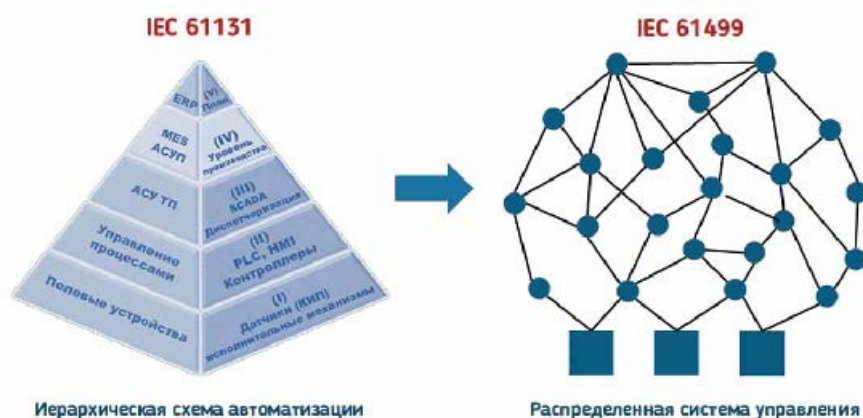


Рис. 3. Различия между стандартами IEC 61131 и IEC 61499

► событийная модель реализации алгоритма. То есть блоки выполняются не по циклу, а когда это необходимо (например, пришел сигнал – сработал блок);

► блочная структура написания кода управления (с диаграммой модели управления событиями). В данной структуре код управления может задаваться каждому блоку по отдельности.

Разработка стандарта IEC 61499 велась в рамках международной электротехнической комиссии МЭК (IEC, International Electrotechnical Commission), в рабочей группе WG63 технического комитета TC65. Обсуждение будущего стандарта IEC 61499 началось в октябре 1990 года, активная работа над ним – в марте 1992 года, период апробации подготовленного проекта стандарта – в марте 2001 года, и, наконец, завершилась разработка в 2005 году.

Основной целью разработки стандарта IEC 61499 была необходимость решить проблемы гибкости и распределенной системы в автоматизации. Но долгое время он оставался на бумаге – на мой взгляд, по ряду причин. Вот основные из них:

► отсутствие нормальных распределенных Ethernet-сетей. В реалиях того времени тянуть витую пару дальше 100–150 м не представлялось возможным. В то же время устанавливать кучу процессоров для промышленных объектов в одном помещении, согласитесь, выглядит несколько странно. С учетом гонки производительности Intel, AMD и прочих брендов было удобнее оставаться в рамках стандарта IEC 61313;

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

С последней проблемой блестяще справилась команда разработчиков (включая авторов стандарта), которые создали 4diac – бесплатную open-source-платформу, которая показывает, как стандарт IEC 61499 должен работать в реальной жизни, и сделали ее доступной для производителей железа, таких как мы.

Практическое применение стандарта IEC 61499, 10BASE-T1L и 4diac

Давайте познакомимся с 4diac поближе. Платформа состоит из двух программных модулей: 4diac IDE на базе Eclipse и 4diac FORTE.

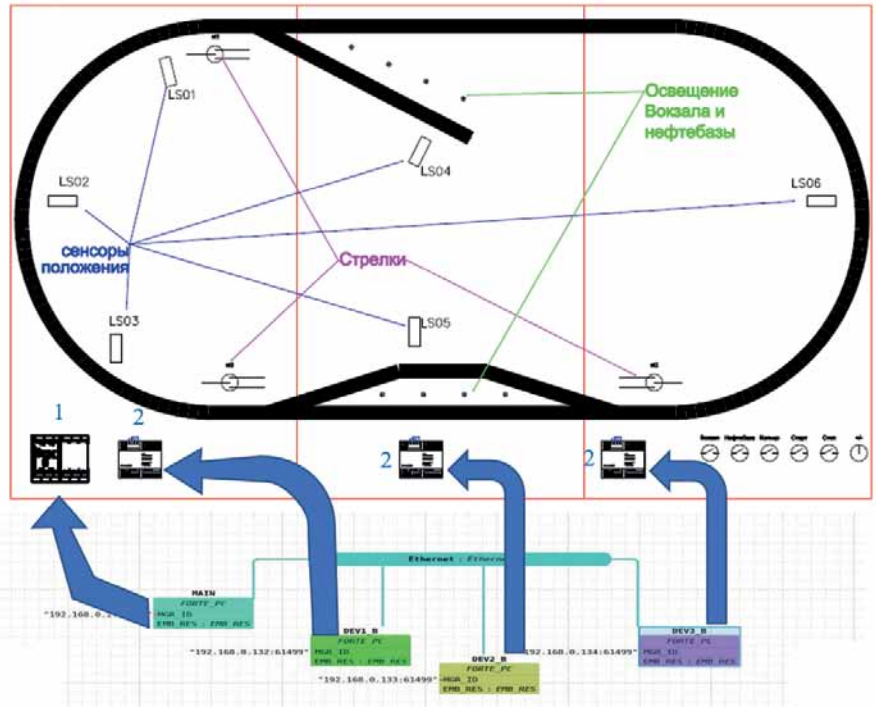


Рис. 4. Структурная схема железной дороги

4diac FORTE – это исполнительная часть программы, работающая на удаленных машинах.

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

В качестве «Hello, world»¹ предлагаю рассмотреть наш проект железной дороги. Что нам понадобится:

- 4diac;
- коммутатор Insol Node – 1 шт.;
- удаленные 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 – удаленные модули Insol 1000.

Каждый удаленный модуль Insol 1000 является функциональным блоком

управления скоростью поезда на определенном сегменте железной дороги. Общий вид функционального блока с описанием алгоритма действий представлен на рис. 5. В результате мы имеем распределенную между тремя контроллерами систему управления (рис. 6).

Как же это работает? Территориально железную дорогу разбили на три сегмента, каждому сегменту соответствует свой контроллер, который отвечает за сенсоры и исполнительные

¹ «Здравствуй, мир!» (англ.) – тестовая фраза, которую часто используют в программировании для проверки и изучения ПО или устройств.

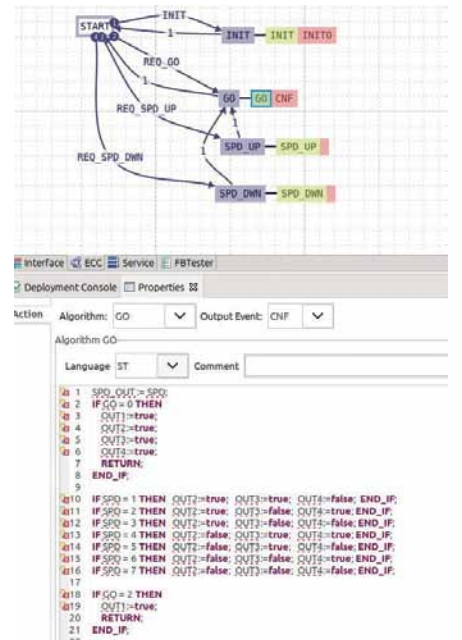
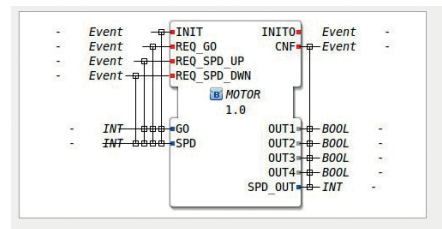


Рис. 5. Функциональный блок управления скоростью поезда



Рис. 6. Общий вид железной дороги

механизмы в 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 (рис. 4). Коммутатор реализует общий алгоритм движения.

В сущности, в данной распределенной системе есть все необходимое для комфортной работы, а именно:

- ▶ возможность отладки в режиме онлайн как всей системы целиком, так и каждого отдельно стоящего контроллера;
- ▶ онлайн-наблюдение за прохождением сигналов;
- ▶ деплой 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 файл XML, в котором описываются, какие экземпляры функциональных блоков используются и как они связаны между собой.

Согласен, что отличия в работе по сравнению с софтами на базе стандарта IEC 61131 приводят в некоторое замешательство бывалых и не очень «асушников» и требуют ряда перестроек внутреннего алгоритма мышления при написании программ, но, на мой взгляд, общая структура более прозрачна и несет огромное количество преимуществ, например:

- ▶ открытость системы, изначально заточенной под разработчиков железа (скажем, таких, как мы);
- ▶ масштабируемость;
- ▶ переносимость системы вашего кода на разные платформы;
- ▶ совместимость с протоколом Ethernet APL (10BASE-T1L).

Решения и продукты ООО «ИНСОЛ»

Основным направлением разработки продуктов «ИНСОЛ» является создание оборудования, адаптированного к требованиям IEC 61499 и 4diac, в том числе – сетевого оборудования с поддержкой Ethernet APL. Примеры сетевого оборудования производства

Таблица 1. Виды сетевого оборудования производства ООО «ИНСОЛ»

Вид	Наименование	Характеристики	Количество портов
Коммутаторы неуправляемые Ethernet APL	INSOL Switch (15/30/40)	1 SFP – 100 Мбит, 2 RJ45 – 100 Мбит (1 POE)	3 – 10B-T1L (PoDL OUT)
	INSOL Switch (15/30/40)		6 – 10B-T1L (PoDL OUT)
	INSOL Switch (15/30/40)		10 – 10B-T1L (PoDL OUT)
Медиаконвертеры и повторители интерфейса Ethernet APL	MC30-DIN (15/30)	1 RJ45 – (10B-T1L + PoDL OUT)	
	MC31-DIN	1 RJ45 (PoE OUT) – 10BASE-T1L (PoDL IN)	
	MC31-outdoor	1 RJ45 (PoE OUT) – 10BASE-T1L (PoDL IN)	
	MC32-outdoor (15/30) повторитель интерфейса	10BASE-T1L (PoDL IN) – 10BASE-T1L (PoDL OUT)	



а



б



в

Рис. 7. Виды коммутаторов неуправляемых производства ООО «ИНСОЛ»: а – INSOL Switch (15/30/40) V1; б – INSOL Switch (15/30/40) V2; в – INSOL Switch (15/30/40) V3



Рис. 8. Типовое решение для камер видеонаблюдения

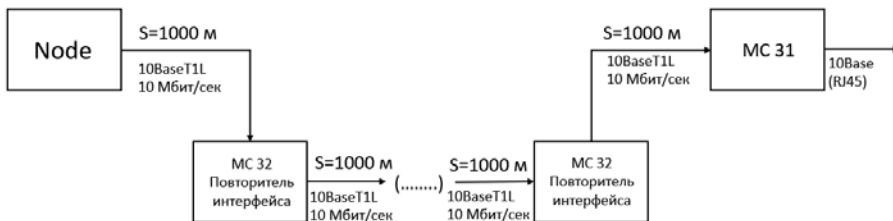


Рис. 9. Пример решения с удлинителем Ethernet APL

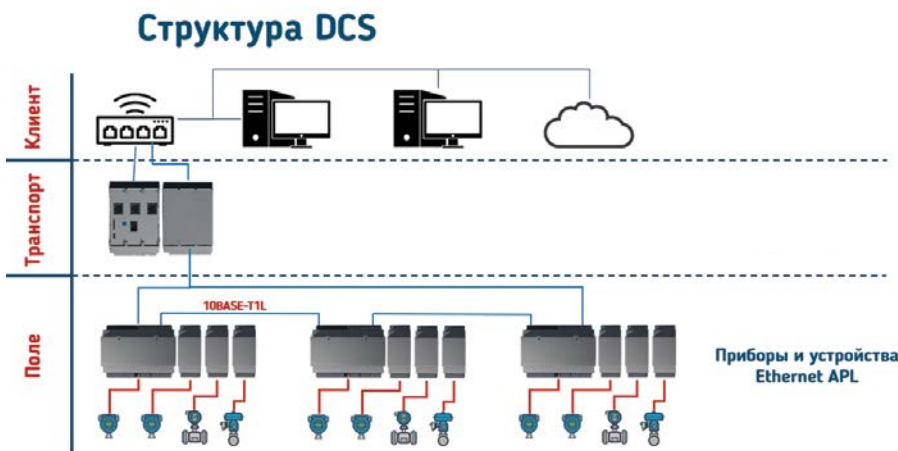


Рис. 10. Общая структура оборудования

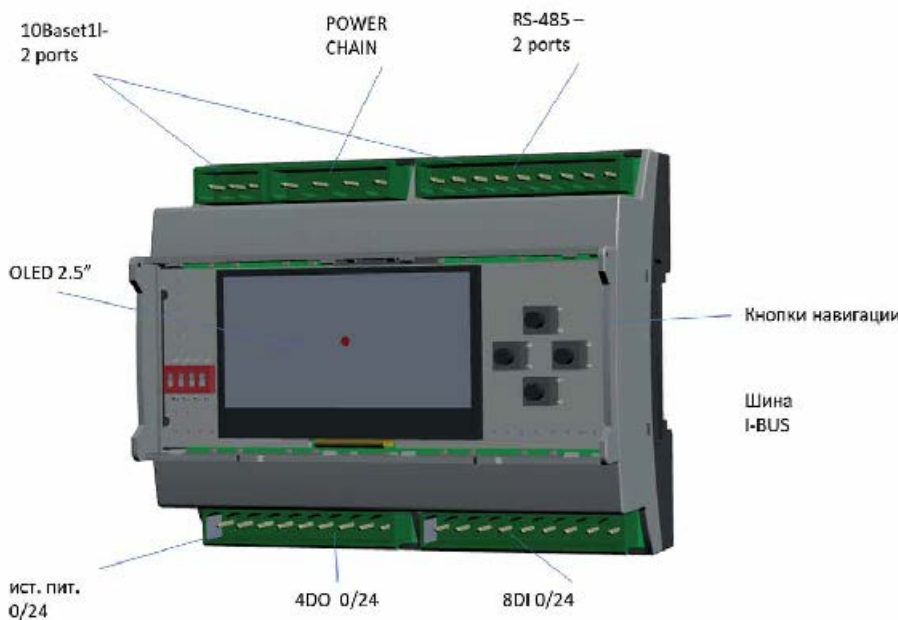


Рис. 11. Модуль 1000 RCU: внешний вид

ООО «ИНСОЛ» приведены в табл. 1, внешний вид – на рис. 7.

В чем 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, объединенных в одну сеть. Мы разобрались, как строить сети на базе Ethernet APL. Давайте рассмотрим наше решение по этим узлам и как их можно структурировать на технологической площадке (рис. 10).

Начнем рассмотрение структуры снизу вверх. Основной «кирпичик» нашей системы – процессорный модуль 1000 RCU, внешний вид которого представлен на рис. 11, а технические характеристики – в табл. 2. Модуль 1000 RCU – это базовый модуль контроллера, он представляет собой пластиковый корпус с печатными платами, с внешними разъемами и интерфейсами, а также жидкокристаллическим дисплеем.

Также важными компонентами системы являются модули расширения. Описание модулей расширения указано в табл. 3, а внешний вид приведен на рис. 12.

Одной из главных фишек 1000-й серии является то, что контроллеры можно соединять последовательно парой проводов, и эта гирлянда будет представлять собой единую локальную сеть с максимальной длиной одного сегмента до 1500 м и внутренней скоростью до 10 Мбит/с. Подключаете к компьютеру через медиаконвертер, и вся функциональность 4diac в вашем распоряжении. На практике мы подключаем 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, для удаленного сбора и обработки информации с подклю-

Таблица 2. Основные технические характеристики модуля 1000 RCU

Наименование характеристики	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 МБ SDRAM 16BitData
Flash	NOR 128 Мбит
SD-карта	32 ГБ

Таблица 3. Описание модулей расширения

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



Рис. 12. Внешний вид модулей расширения



Рис. 13. Контроллер Insol 1000 в сборе

ченных датчиков, а также управления ими путем 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 модификация Insol 1000 Ex во взрывозащищенном корпусе.

Особенности применения контроллера Insol 1000:

- ▶ 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, то есть передача данных и питание по однопарному кабелю, что обеспечивает экономичное использование кабельной продукции;

▶ модульная конструкция, увеличение количества каналов путем присоединения модулей расширения (модулей ввода/вывода).

Питание контроллера осуществляется:

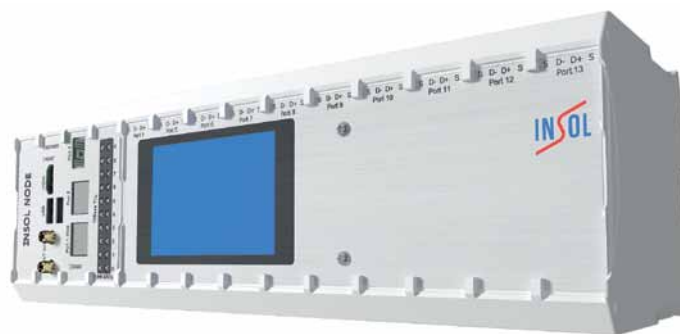
- ▶ от удаленного источника номинальным напряжением 48 В посредством PoDL, то есть непосредственно по витой паре, через которую передаются данные;
- ▶ от локальных источников 24...48 В с помощью модуля локального питания П1051;
- ▶ по PoDL и от локального источника одновременно (комбинированная схема 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,



а



б

Рис. 14. Внешний вид Insol Node: а – V1; б – V2

Таблица 4. Основные технические характеристики Insol Node

Характеристика	Значение
ОС	LINUX
ОЗУ	4G ROM +16G RAM
CPU	ROC 3399
HDD	256–512 ГБ
USB	2
HDMI	1
Wi-Fi	Есть

имеет встроенный веб-интерфейс для удаленной настройки и диагностики через любой браузер и не требует для своего функционирования предоставления дополнительного программного обеспечения. Контроллер Insol 1000 в сборе с модулями расширения показан на рис. 13.

Итак, поднимаемся по структуре далее (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 интеграции устройств в единую сеть,

построения распределенных систем сбора данных и управления (АСУ ТП). Внешний вид Insol Node приведен на рис. 14, основные технические характеристики перечислены в табл. 4.

Кроме непосредственного запуска приложения 4diac FORTE, причем сразу нескольких экземпляров, коммутатор имеет возможность отладки и компиляции пользовательских функциональных блоков. Структура формирования, отладки и компиляции функциональных блоков представлена на рис. 15.

Этот инструментарий делает систему 4diac полнофункциональным инструментом АСУ ТП, позволяя конеч-

ному пользователю сэкономить время на разборе внутренних процедур обслуживания и системы, сосредоточившись непосредственно на разработке прикладного программного обеспечения.

Одним из важнейших по значимости инструментов софта Insol Node является опрос по протоколам, сбор данных от устройств (HTTP, Modbus TCP и т. п.) и сохранение в базе данных с предоставлением в формате OPC UA. В функции программного обеспечения интегрирована SCADA-система от «ИНСОЛ» (на базе FUXA), что позволяет с минимальными затратами создавать визуализацию как на простых HMI-панелях с поддержкой WEB, так и в рамках полноценной клиент-серверной структуры.

М. Р. Рафальсон, директор,
ООО «ИНСОЛ», г. Уфа,
тел.: +7 (347) 246-6024,
e-mail: info@insolsoft.com,
сайт: insolsoft.ru



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