

## Гальваническая развязка сигналов датчиков и исполнительных устройств

Бакай В.Г., Спектрум Электроникс, г. Киев

**Вопрос о том, зачем нужна гальваническая развязка и к чему может привести ее отсутствие, что является источником помех и как они воздействуют на входные тракты вторичной измерительной аппаратуры, на страницах ПИКАДа исчерпывающе освещен в выпусках №3-4/2003 и №1/2004. А вот какая она бывает, гальваническая развязка, и на что можно и нужно ориентироваться отечественным внедряющим организациям - об этом и пойдет речь в этой статье.**

То, что без гальваноразвязки в условиях реального производства - ну никак, это понятно каждому системному интегратору. То, что это стоит недешево, но платить все-таки надо, тоже наконец-то уже осознали. И тем не менее, реализуя конкретный проект, многие испытывают трудности в выборе более или менее оптимального решения. Что применить - групповую или индивидуальную развязку, плата в компьютер с гальваноразвязкой или внешние модули-нормализаторы, а может быть подойдет терминальная плата? Готовых решений на отечественном рынке средств промышленной автоматизации не много, но достаточно. Давайте попытаемся во всем этом хозяйстве разобраться.

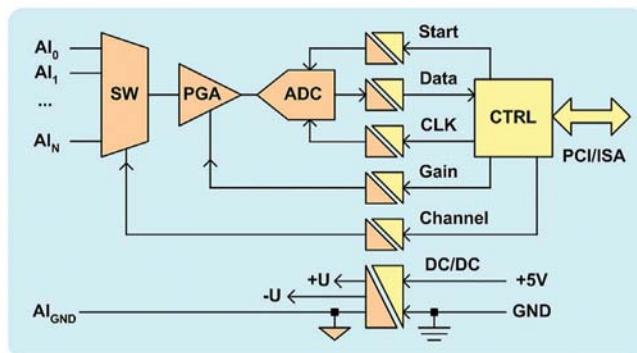
Прежде всего, следует различать развязку сигналов цифрового интерфейса и развязку сигналов "голых" датчиков и исполнительных устройств. В первом случае особых проблем у большинства пользователей не возникает. За них практически все продумали производители преобразователей интерфейсов. Подключили к COM-порту, например, модуль i-7520, и получили канал RS-485, гальванически развязанный от компьютера. А вот в ситуации с датчиками - все значительно сложнее.

Конечно, светлое будущее - интеллектуальные сенсоры - не за горами. Эти устройства объединяют в себе и собственно чувствительный элемент, и тракты усиления, фильтрации, линеаризации и аналого-цифрового преобразования. В них интегрирован микроконтроллер, обеспечивающий и цифровую обработку сигнала, и автокалибровку, и передачу измеренной величины по каналу гальванически развязанного промышленного интерфейса, и многое другое. Но, это - завтра, а сегодня - сотни и тысячи классических датчиков (термопары, терморезисторы, тензодатчики,...) эксплуатируются на производстве. И, поверьте, еще долго будут эксплуатироваться. Заменить их на интеллектуальные - задача непростая и к тому же дорогостоящая. Да и не исчезнут "голые" датчики и преобразователи как класс с аналоговым выходом никогда. А поэтому задача согласования сигналов, гальваническая развязка есть ее составная часть, всегда будет актуальной.

Больше всего хлопот разработчикам систем доставляет аналоговая развязка. С "дискретными" - проще.

Наверное, потому, что дешевле, да и многие могут самостоятельно ее реализовать. Но о развязке дискретных сигналов потом.

Вопрос номер один - гальваническая развязка аналоговых сигналов! Или аналоговая развязка? Как правильно сказать? Если на входе аналоговый сигнал и на выходе тоже аналоговый, тогда, вроде как, следует выразиться "гальваноразвязка аналогового сигнала". А если на выходе - "цифра"? То ли частотный сигнал, пропорциональный аналоговому, то ли последовательный поток данных от АЦП. В такой ситуации лучше просто сказать - "аналоговая развязка". Можно, конечно, было бы представить и полную классификацию, учесть все возможные варианты. Но, зачем? Ведь в реальной жизни существуют всего лишь три реализации.



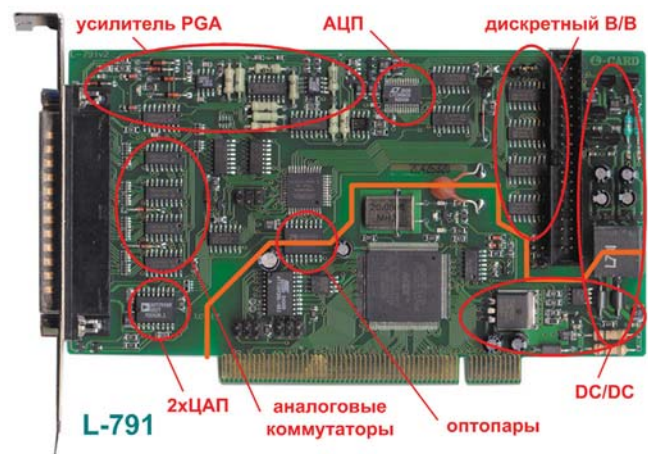
Первая - классическая аналоговая гальваноразвязка "аналог-аналог". Вторая - использование преобразования "напряжения-частота". И, наконец, групповая развязка, когда, например, коммутатор SW, усилитель PGA и аналого-цифровой преобразователь ADC выносятся на "ту" сторону, а на "этой" - схема управления CTRL и интерфейсный канал. Все остальные возможные варианты можно считать чисто теоретическими, и на практике они широкого распространения пока не нашли. Вот это и должен знать системный интегратор! А теперь по существу, на что Вы можете рассчитывать.

Начнем с недорогого варианта, а именно - с групповой развязки. Вы наверняка ее встречали на популярных платах многофункциональных АЦП, например, произво-

дства фирм "L-Card" (Россия), "ХОЛИТ Дэйта Системс" и "САТУРН Дэйта Интернэшнл" (Украина), "ICP\_DAS", "AdLink Technology" и "Advantech" (Тайвань). Аналоговая часть и сам АЦП гальванически развязаны от шины ISA или PCI, а интерфейсная часть и цифровой автомат "сидят" на "земле" компьютера. Вроде как развязываются сигналы управления выбором канала Channel, т.е. коммутатором, коэффициентом усиления Gain, запуском АЦП Start, синхронизацией его работы CLK/Data и т.п. Т.е. развязка по существу - дискретная. Но главная задача - гальваническая развязка источников аналоговых сигналов, пусть и групповая, при такой реализации плат АЦП/ЦАП - решается! Кроме очевидного достоинства такой гальваноразвязки - гуманная цена, следует не забывать о широком частотном диапазоне входных сигналов, т.к. в других вариантах гальваноразвязки, если речь идет о массовых применениях и изделиях промышленного назначения - это обеспечить невозможно. Современные быстродействующие, устойчиво работающие в широком температурном диапазоне, оптоэлектронные преобразователи сигналов уровней ТТЛ позволяют создавать платы для РС по быстродействию сравнимые с платами и без развязки! Это решение безусловно заслуживает внимания, и даже особого!

Известны варианты описанной групповой аналоговой развязки, реализация которых требует всего лишь двух оптопар. Возможна организация обмена полубайтами или даже байтами. Вы можете встретить платы, в которых применена абсолютно параллельная структура: "сколько линий управления - столько и оптопар". Каждый производитель хорошенько подумал как ему поступить и оптимизировал соотношение "цена-быстродействие - функциональные возможности".

Принимая решение об использовании в текущем проекте подобного типа гальваноразвязку, учтите следующее. Если у предлагаемой Вам плате или модуле на "той" стороне установлен микроконтроллер - будьте внимательны! Очень многим разработчикам хочется его применить (в этой ИС - микропроцессор, АЦП, ЦАП-ы, таймера, дискретный В/В и т.п.) - получится недорого и очень привлекательно. Ну, а вдруг произойдет сбой программы из-за помехи по аналоговым линиям В/В (а это обязательно случится!) и микроконтроллер куда-то там "улетит". Система зависла. Навсегда. Такого рода платы



лучше не приобретать! Если, конечно, в них не предусмотрен отдельный канал программного сброса.

А на что же следует глаз положить? На популярные, многократно проверенные, платы сбора данных, только некоторые из которых представлены в таблице. Есть здесь и платы для шины ISA, и платы для PCI, и даже в формате PC/104! Все модели по-своему интересны.

Платы-близнецы компании ICP\_DAS, имеющие шесть диапазонов в режиме биполярного сигнала и пять - для униполярного, привлекательны невысокой стоимостью, а потому и пользуются спросом. Но быстродействие ограничено значением 10 кГц, отсутствует режим дифференциального подключения источников сигнала и линий дискретного В/В, что не позволяет назвать их универсальными.

В 12-битовой модели АЦП ADC-1293G для шины ISA предусмотрен гальванически развязанный дискретный В/В и режимы однопроводного и дифференциального подключения аналоговых сигналов, частота опроса которых составляет 170 кГц! Плата интересна еще и потому, что в ней все функции управления возложены на микроконтроллер. А это существенно для программистов, по отзывам которых "с ADC-1293G работать - одно удовольствие". Кстати, режим программного сброса микроконтроллера предусмотрен. А очевидный недостаток этого АЦП - только один входной диапазон  $\pm 10V$ , но... по индивидуальному заказу он может быть изменен.

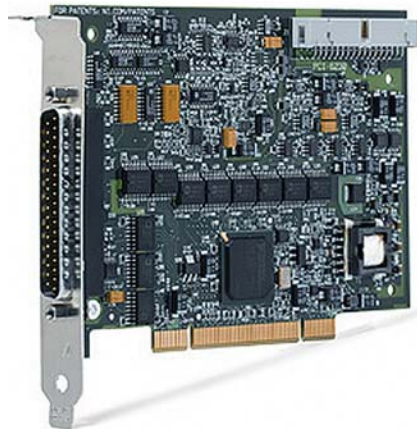
модель	ISO-813	ADC-1293G	PHL-DAQi	PISO-813	L-761	L-791
производитель	ICP_DAS	ХОЛИТ	ХОЛИТ	ICP_DAS	L-Card	L-Card
шина	ISA	ISA	PC/104	PCI	PCI	PCI
аналоговые входы	32SE	32SE / 16DI	8SE / 4DI	32SE	32SE / 16DI	32SE / 16DI
разрядность АЦП, бит	12	12	12	12	14	14
быстродействие АЦП	10 кГц	170 кГц	150 кГц	10 кГц	125 кГц	400 кГц
входной диапазон	$\pm 0.3125.. \pm 10 V$ $0-0.625..0-10 V$	$\pm 10 V$	$\pm 0.01.. \pm 10 V$	$\pm 0.3125.. \pm 10 V$ $0-0.625..0-10 V$	$\pm 0.08 V, \pm 0.3 V,$ $\pm 1.25 V, \pm 5 V$	$\pm 0.07.. \pm 10 V$
прогр.коэфф.усиления	+	-	+	+	+	+
аналоговые выходы	-	-	1*	-	2*	2*
разрядность ЦАП, бит	-	-	12	-	12	12
выходной диапазон	-	-	$\pm 5 V$	-	$\pm 5 V$	$\pm 5 V$
дискретные входы	-	7 TTL	8, "O.C", 30B/0,1A	-	16** TTL	16 TTL
дискретные выходы	-	4 TTL	8, "Dr.C"	-	16** TTL	16 TTL
напряжение развязки	3000 В	500 В	500 В	3000 В	500 В	500 В

SE- однопроводное включение, DI – дифференциальное включение; "O.C" – открытый коллектор, "Dr.C" - сухой контакт  
\* - опция; \*\* - гальваноразвязка дискретных линий В/В отсутствует

И плата ISO-813, и плата ADC-1293G - модели долгожители. Будет жить шина ISA - будут востребованы названные платы, и, похоже, так оно и будет. В секторе промышленных компьютерных систем ISA остается и сегодня. А вот судьба PCI шины проблематична, и об этом свидетельствуют появление шины PCI Express и устройств сбора данных для нее. Сколько будет длиться переход на новую шину, сказать трудно. Наверное, все-таки обычная PCI еще послужит. И платы сбора данных для этой шины будут нужны в обозримом будущем, в том числе и с гальванической развязкой.

Наиболее интересны действительно многофункциональные платы L-761 и L-791. АЦП 14 бит, число аналоговых каналов - 16 в дифференциальном режиме или 32 в однопроводном, ЦАПы, дискретный В/В. Все, что хотелось бы - вроде есть, и даже больше. Если у модели L-761 всего четыре входных диапазона, то у L-791 - восемь:  $\pm 0.07$ ,  $\pm 0.15$ ,  $\pm 0.3$ ,  $\pm 0.6$ ,  $\pm 1.25$ ,  $\pm 2.5$ ,  $\pm 5.0$  и  $\pm 10$  В. Если для L-761 максимальная частота преобразования составляет 125 кГц, то для L-791 - 400 кГц! Особенность L-761 - сигнальный процессор ADSP 2185 с внутренним ОЗУ программ 16КСлов и ОЗУ данных 16КСлов, особенность L-791 - беспроцессорная структура с режимом BusMaster. На L-761 для управления оптронами гальваноразвязки используется отдельный микроконтроллер. А процессор ADSP обеспечивает автоматическое переключение каналов с произвольным порядком выбора и коэффициентом усиления.

Обе модели L-Card комплектуются библиотекой LCOMP для операционных систем Windows 98/Me/2000/XP, построенной на основе WDM-драйверов. Эта библиотека содержит собственно WDM-драйвера, библиотеку DLL и примеры программирования на C++, Delphi. Модель L-761 могут использовать те, кто предпочитает Linux вместо Windows. А еще в комплекте поставки имеется законченное ПО - многоканальный осциллограф "L-Graph" с очень удобным многооконным графическим интерфейсом.



модель	NI USB-6215	NI USB-6216	NI USB-6218
аналоговые входы	16SE / 8DI	16SE / 8DI	32SE / 16DI
разрядность АЦП, бит	16	16	16
быстродействие АЦП	250 кГц	400 кГц	250 кГц
входной диапазон (макс.)	$\pm 10$ В	$\pm 10$ В	$\pm 10$ В
аналоговые выходы	2	2	2
разрядность ЦАП, бит	16	16	16
частота вывода	250 кГц	250 кГц	250 кГц
выходной диапазон (макс.)	$\pm 10$ В	$\pm 10$ В	$\pm 10$ В
дискретный В/В	4DI / 4DO	32DIO	8DI / 8DO

Тем, кто располагает достаточными финансовыми средствами, можно порекомендовать платы с групповой гальваноразвязкой компании National Instruments (США) М-серии NI PCI-6230/32/ 33/36/38/39. Это 16-битовые системы сбора данных с частотой преобразования 250 кГц для АЦП и 500 кГц для ЦАП. В моделях с дифференциальными входами по напряжению максимальный входной диапазон составляет  $\pm 10$ В, а число каналов - 16. В моделях с токовыми входами  $\pm 20$ мА, число каналов вдвое меньше. Аналоговый вывод возможен как с выходом по напряжению  $\pm 10$ В, так и по току 0..20 мА, а число каналов 2 или 4 - в зависимости от модели. Дискретный В/В представлен десятью каналами в соотношении 6 входов/4 выхода. Имеются также два 32-разрядных счетчика-таймера, 80 МГц. Но самое привлекательное в платах М-серии - оригинальные, принципиально новые технологии NI-SCT 2, NI-MCal и NI-PGIA 2, обеспечивающие повышение точности, увеличение межкалибровочного интервала до 2 лет, поддержку 6 каналов DMA, уменьшение влияния температуры и др.

В М-серии устройств сбора данных National Instruments есть и внешние АЦП/ЦАП с интерфейсом USB, в ко-



модель	NI PCI-6230	NI PCI-6232	NI PCI-6233	NI PCI-6236	NI PCI-6238	NI PCI-6239
аналоговые входы	8	16	16	4	8	8
разрядность АЦП, бит	16	16	16	16	16	16
быстродействие АЦП	250 кГц	250 кГц	250 кГц	250 кГц	250 кГц	250 кГц
входной диапазон (макс.)	$\pm 10$ В	$\pm 10$ В	$\pm 10$ В	$\pm 20$ мА	$\pm 20$ мА	$\pm 20$ мА
аналоговые выходы	4	2	2	4	2	2
разрядность ЦАП, бит	16	16	16	16	16	16
частота вывода	500 кГц	500 кГц	500 кГц	500 кГц	500 кГц	500 кГц
выходной диапазон (макс.)	$\pm 10$ В	$\pm 10$ В	$\pm 10$ В	$\pm 10$ В	0..20 мА	0..20 мА
дискретные входы	6 (TTL/CMOS)	6 (24В)	6 (24В)	6 (TTL/CMOS)	6 (24В)	6 (24В)
дискретные выходы	4 (TTL/CMOS)	4 (24В, sourcing)	4 (24В, sinking)	4 (TTL/CMOS)	4 (24В, sourcing)	4 (24В, sinking)

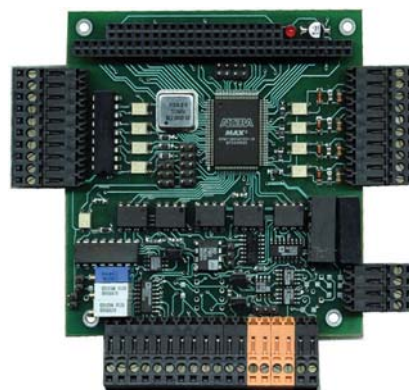


торых реализована групповая гальваническая развязка "Bank Isolation". Это тоже 16-битовые структуры, с диапазонами входных сигналов  $\pm 0.2$ ,  $\pm 1$ ,  $\pm 5$  и  $\pm 10V$ . В моделях NI USB-6215 и NI USB-6218 обеспечивается частота дискретизации до 250 кГц, а в NI USB-6216 - 400 кГц! Присутствуют в этих моделях и каналы дискретного В/В и два 32-разрядных счетчика-таймера.

Кроме USB M-серии в предложениях National Instruments присутствует большой модельный ряд АЦП с интерфейсом USB, базирующийся на модулях cRIO (семейства CompactRIO) с гальваноразвязкой. Это малоканальные структуры с фиксированным входным диапазоном. Каждая модель по-своему интересна. NI USB-9215A позволяет оцифровывать синхронно сигналы по четырем каналам с частотой 100 кГц при разрядности 16 бит. NI USB-9211 тоже четырехканальный АЦП, его разрядность 24 бита и, естественно, частота опроса всего 12 измерений в секунду, но

входной диапазон составляет  $\pm 30$  мВ. Нельзя не упомянуть и NI USB-9201 и NI USB-9221. Это 12-битовые, восьмиканальные АЦП с быстродействием 500 и 800 кГц соответственно. Безусловно, эта серия устройств аналогового ввода заслуживает особого внимания. И к ней еще придется вернуться.

К сожалению, рассмотренные модели АЦП с групповой гальваноразвязкой для PC не решают многих других проблем согласования: сопряжение с различными типами датчиков, аналоговую фильтрацию и линеаризацию, и т.п. Нельзя сказать, что таких плат в мире не существует. Известны модели плат, обеспечивающие подключение термодатчиков и различных типов резистивных датчиков (термосопротивлений, тензодатчиков, потенциометров). Например, модели ISO-LDH/LDL (ICP\_DAS). На этих платах предусмотрен источник опорного напряжения и усилитель с  $K_u=40000$ , обеспечивающие непосредственное подключение тензорезистивных измерительных преобразователей. Еще один пример из категории "Embedded". Плату в формате PC/104 PHL-DAQi можно назвать почти идеальной



«ЗОЛОТА  
ФОРТУНА»  
1993

Телефон Дирекції:  
8 (044) 254 57 00



14 РОКІВ  
МІЖНАРОДНИХ СУСПІЛЬНО-  
ПОЛІТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ  
ТА СВІТОВЕ ВИЗНАННЯ

«GOLDEN  
FORTUNE»  
2007

[www.fortuna.org.ua](http://www.fortuna.org.ua)



микросистемой сбора данных. Она содержит 8 каналный 12-битовый АЦП, 150 кГц, и ЦАП, 12 бит, с временем установления 5 мкс, а также 8 каналный порт дискретного ввода и 8 каналный порт дискретного вывода. Две особенности у PHL-DAQi, а именно: возможность непосредственного сопряжения с датчиками с токовым выходом и термометрами сопротивления, и отдельная гальваноразвязка линий аналогового В/В, дискретного ввода и дискретного вывода.

Названные экзотические платы следует считать специализированными платами. Как правило, в компьютер удлинительные электроды от термопар никто не тянет. Вопросы нормализации сигналов и сопряжение с "голыми" сенсорами в большинстве случаев решаются вне PC. Например, используя модули АЦП популярных серий i-7000/8000 (ICP\_DAS). Реализованный в них принцип гальванической развязки аналогичен рассмотренному выше для встраиваемых в PC плат. Парочка оптронов плюс DC/DC-преобразователь - это и есть решение. Но, в отличие от плат, многоканальные модули i-7000/8000 обеспечивают сопряжение с основными видами промышленных датчиков: термопарами различных типов, термометрами сопротивления по 2-х, 3-х и 4-х проводным схемам подключения, термисторами, тензодатчиками и др.

Используя платы и модули с групповой гальваноразвязкой, Вы должны быть абсолютно уверены, что все Ваши источники сигналов "сидят под одним потенциалом". В

выходом - по напряжению и по току. В двухканальном ЦАП PISO-DA2 также обеспечивается индивидуальная развязка. Для этого производители просто добавили дополнительные оптроны и преобразователи питания с гальваноразвязкой. При этом, конечно, компоновка электронных компонентов на плате усложнилась и потребовалось больше пространства.

Если для малоканальных ЦАП практикуется такая индивидуальная гальваноразвязка, то, естественно, возникает мысль - а почему бы не сделать то же самое в отношении аналогового ввода. Да, это будет стоить недешево: сколько каналов - столько и ИМС АЦП и усилителей, и DC/DC-конвертеров, и пропорционально возрастет число оптронов. И в этой связи стоит вернуться к модулям National Instruments серии cRIO. Модели NI-9229/39 содержат четыре идентичных канала, содержащих входной усилитель, антилайзинговый фильтр, 24



разрядный АЦП и оптронную развязку сигналов управления. Этот модуль позволяет синхронно оцифровывать сигналы с частотой до 50 кГц. Модуль NI-9219 является универсальным четырехканальным 24-разрядным АЦП с временем преобразования 100 изм/с. А универсальным его следует считать потому, что каждый канал содержит генератор тока, источник опорного напряжения, усилитель с программируемым коэффициентом усиления и компенсатор С/С. Это означает возможность подключения потенциометров, тензодатчиков, термопар и термометров сопротивления,

Модель	DAC-1243G	DAC-1245G	ISO-DA8/DA16	PISO-DA2
производитель	ХОЛИТ	ХОЛИТ	ICP_DAS	ICP_DAS
шина	ISA	ISA	ISA	PCI
аналоговые выходы	3*	4	8 / 16	2*
разрядность ЦАП, бит	12	12	14	12
выходной диапазон	0..5В, 0..10В, ±5В, ±10 В, 0..20, 4..20, ±5мА	0..5В, 0..10В, ±5В, ±10 В, 0..20, 4..20, ±5мА	0..5В, 0..10В, ±5В, ±10 В, 0..20, 4..20 мА	0..5В, 0..10В, ±5В, ±10 В, 0..20, 4..20 мА
время установления	15 мкс	10 мкс	-	0.1 мс
дискретные входы	24 TTL (3x8) **	-	16 TTL**	-
дискретные выходы		-	16 TTL**	-
напряжение развязки	500 В	500 В	2500 В	3000 В

\* - индивидуальная гальваноразвязка каналов; \*\* - гальваноразвязка дискретных линий В/В отсутствует

противном случае потребуются индивидуальная (или поканальная) гальваноразвязка. А это уже другой разговор! И, заметьте, деньги тоже.

Гальваническая развязка на встраиваемых в PC платах многоканального аналогового вывода также реализуется на уровне сигналов управления микросхемами ЦАП. В отличие от универсальных плат сбора данных, в многоканальных ЦАП выходные сигналы по напряжению нормированы рядом 0..5В, 0..10В, ±5В и ±10В. Кроме того, в них предусмотрен и выход по току - 0..20мА, 4..20мА и даже ±5мА. Т.е. такие платы не требуют дополнительных узлов согласования с исполнительными устройствами. На платах ЦАП не лишними являются и каналы дискретного В/В, особенно, если они имеют хотя бы групповую гальваноразвязку. А еще было бы неплохо иметь на таких платах программируемый пользователем сигнальный процессор. Например, для задач формирования сигналов специальной формы или систем управления станков с ЧПУ. Но, увы, такого пока нет.

Среди приведенных моделей в таблице следует отметить плату трехканального ЦАП DAC-1243G с индивидуальной гальванической развязкой и универсальным

выходом, не говоря уже об источниках напряжения и тока. Отличные модули. Но кассет с интерфейсом USB для них у NI пока нет. А что же с ними тогда делать? Об этом, а также о других видах гальванической развязки аналоговых сигналов и их нормализации, читайте в следующих выпусках журнала. Не все сразу.

А тем из Вас, кому не терпится, или насущные задачи требуют, можно посоветовать начать знакомство с модульными системами SCXI и Compact DAQ (National Instruments), LTR (L-Card), нормализаторами сигналов серий SCM5B, SCM7B, SCM8B, DSCA, DSCT, DSCL (Dataforth, США), SG-3000 (ICP\_DAS) и HL7B (ХОЛИТ Дэйта Системс).

(продолжение следует)



КОНТАКТЫ:

т. 044-492-3108  
т. 044-241-8739