

# Модульные измерительные системы для автоматизированных испытаний

## Обзор

В этой статье сравниваются две инструментальные платформы - платформа модульных и платформа традиционных измерительных приборов.

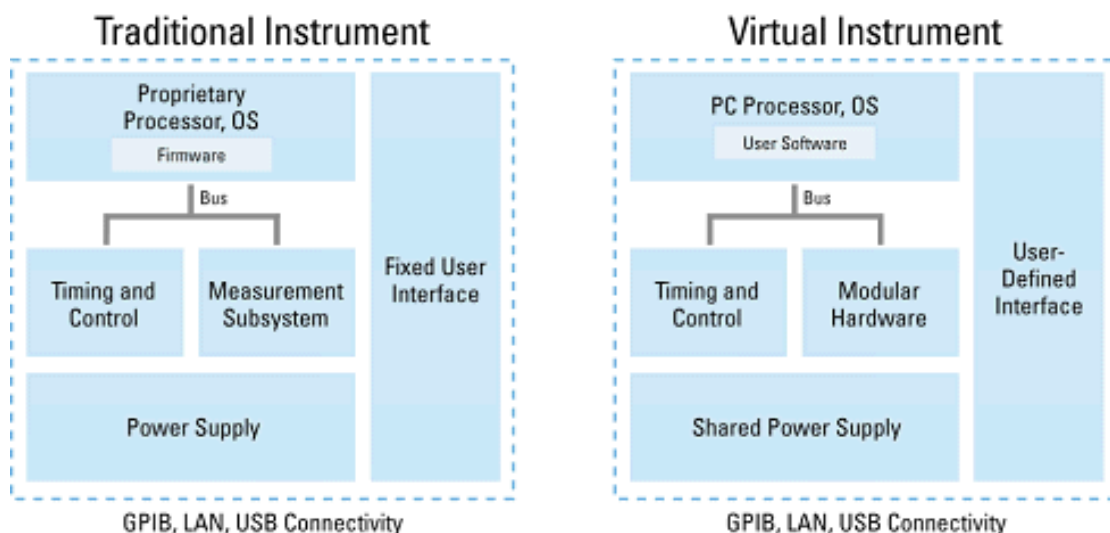
## Содержание

1. Модульное приборостроение – гибкое, определяемое пользователем программное обеспечение и масштабируемые аппаратные компоненты
2. Модульная аппаратура для масштабируемости систем
3. Модульность снижает стоимость и уменьшает размеры, увеличивает производительность и продлевает срок эксплуатации
4. Программное обеспечение для гибких, нестандартных измерений
5. Модульные приборы соответствуют требованиям к автоматизированным испытаниям
6. Продукция NI и информационные материалы по обсуждаемой теме

## Модульное приборостроение – гибкое, определяемое пользователем программное обеспечение и масштабируемые аппаратные компоненты

Тенденции увеличения сложности испытываемых объектов и взаимного проникновения технологий являются стимулом к увеличению гибкости систем тестирования. Системы испытаний должны приспосабливаться к изменениям объектов со временем, несмотря на то, что давление цен требует более длительного срока жизни систем. Единственный способ добиться выполнения данных требований заключается в использовании программируемой модульной архитектуры. В данной статье рассматривается концепция, основанная на программно конфигурируемых виртуальных измерительных приборах, описываются разновидности аппаратных платформ и программного обеспечения, обсуждаются свойства модульных систем, благодаря которым они идеально подходят для решения задач автоматизации испытаний.

В настоящее время, как правило, различают два типа измерительных приборов - виртуальные и традиционные. Рисунок 1 иллюстрирует эти архитектуры.



**Рисунок 1.** Сравнение архитектур традиционных и виртуальных измерительных приборов. Обе архитектуры используют аналогичные аппаратные компоненты; основное различие между архитектурами – место хранения программного обеспечения и доступность его для изменения пользователем

Traditional Instrument – традиционный измерительный прибор; Proprietary Processor, OS – собственный процессор, операционная система; Firmware – встроенное (защищенное) ПО; Bus – шина; Timing and Control – синхронизация и управление; Measurement Subsystem – подсистема измерений; Power Supply – источник питания; Fixed User Interface – жесткий (фиксированный) интерфейс пользователя; GPIB, LAN, USB Connectivity – возможность подключения с использованием интерфейсов GPIB, LAN, USB

Virtual Instrument – виртуальный измерительный прибор; PC Processor, OS – процессор и операционная система общего назначения; User Software – пользовательское ПО; Bus – шина; Timing and Control – синхронизация и управление; Modular Hardware – модульная аппаратура; Shared Power Supply – общий (разделяемый) источник питания; User-Defined Interface – интерфейс, определяемый пользователем; GPIB, LAN, USB Connectivity – возможность подключения с использованием интерфейсов GPIB, LAN, USB

На рисунке можно увидеть сходство этих двух принципов построения систем тестирования. Обе архитектуры включают измерительные аппаратные средства, шасси, источник питания, шину, процессор, операционную систему и интерфейс пользователя. Поскольку при этом используются одинаковые основные компоненты, наиболее очевидное различие с точки зрения аппаратных средств – то, как эти компоненты объединены в корпус. В каждом традиционном (автономном) измерительном приборе все компоненты размещены в одном корпусе. Пример подобного прибора – прибор с ручным управлением, контролируемый через GPIB, USB, или LAN/Ethernet. Такие приборы разработаны как самостоятельные устройства и предназначены, главным образом, не для системного использования. Существует большое количество традиционных измерительных приборов, в которых программная обработка данных и пользовательский интерфейс зашиты в сам прибор и могут быть изменены только изготовителем прибора (например, путем обновления встроенного ПО). Таким образом, пользователь не может выполнять измерения, не включенные в перечень функций традиционного прибора, что затрудняет измерения по новым стандартам и модификацию системы – при возникновении необходимости.

Программируемые виртуальные приборы, наоборот, делают необработанные данные, получаемые от аппаратных средств, доступными для пользователя, и он может реализовать свои собственные функции измерений и свой пользовательский интерфейс. С таким программно-ориентированным подходом пользователи могут выполнять

нестандартные измерения, измерения в соответствии с развивающимися стандартами, или же модифицировать систему при необходимости (например, добавлять приборы, каналы или измерительные функции). Хотя определяемое пользователем программное обеспечение может быть применено и в автономной, специализированной под конкретное приложение аппаратуре, оно идеально подходит для модульного оборудования общего назначения, где может быть использован полный диапазон гибкости и производительности ПО процессов измерения. Эта комбинация гибкого, определяемого пользователем ПО и масштабируемых технических компонентов является основой модульных измерительных приборов.

## Модульная аппаратура для масштабируемости систем

Модульные измерительные приборы могут реализовываться в различных формах. В хорошо спроектированных модульных измерительных системах многие компоненты, такие, как шасси и источники питания – являются общими для разных контрольно-измерительных модулей, и не дублируются в каждой аппаратной функции. Эти контрольно-измерительные модули могут также включать различные типы аппаратных средств, в том числе осциллографы, генераторы функций, цифровые и радиочастотные устройства. В некоторых случаях, как показано на рисунке 2, измерительная аппаратура – просто периферийное устройство, устанавливаемое в один из слотов или подключаемое к какому-либо периферийному порту компьютера. При этом компьютер предоставляет процессор для выполнения измерений с использованием программного обеспечения, а также является шасси для источника питания и ввода-вывода.



**Рисунок 2.** Примеры устройств для модульных измерительных систем, периферийный USB-модуль слева и встраиваемый модуль PCI Express справа

В других случаях, например, при использовании оборудования PXI (PCI eXtensions for Instrumentation – расширение стандарта PCI для измерительной техники) – прочной промышленной платформы для испытаний, измерений и управления, поддерживаемой более, чем 70 компаниями, - измерительная аппаратура помещается в шасси промышленного исполнения (см. рисунок 3).

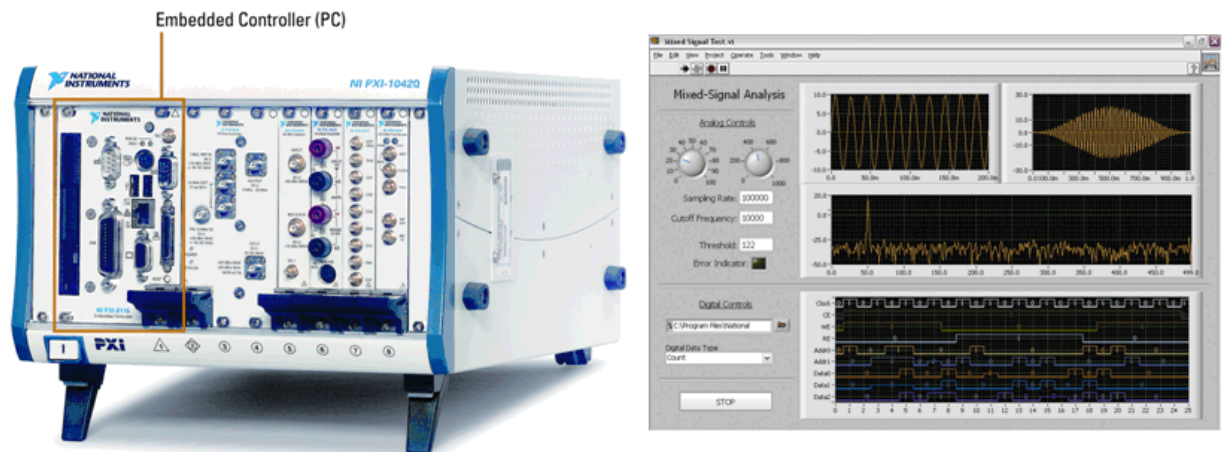


Рисунок 3. Это пример модульной измерительной системы, в котором использованы аппаратные устройства PXI и среда графического проектирования NI LabVIEW.

Embedded Controller (PC) – встроенный контроллер (семейства PC – персональных компьютеров - ПК)

В PXI-системе управляющий (хост) компьютер может быть встроен в шасси (как показано на рисунке 3) либо представлять собой отдельный портативный или настольный компьютер или сервер, который подключен кабелем к измерительной аппаратуре и управляет ею с помощью специального интерфейса. Поскольку в PXI-системах используются такие же шины, как и внутренние шины ПК (PCI and PCI Express), и готовые к применению компоненты ПК для управления системой, принципы использования модульной измерительной аппаратуры, PXI и ПК одни и те же. (Однако PXI предоставляет и другие преимущества модульной аппаратуры, не рассматриваемые здесь, например, увеличенное количество каналов, портативность и способность работы в жестких условиях (дополнительную информацию о PXI можно найти на сайте [ni.com/rxi](http://ni.com/rxi))). Независимо от того, реализована ли система на основе PXI, настольного ПК со встраиваемыми модулями или настольного ПК с периферийными модулями ввода-вывода, совместное использование шасси и контроллера значительно уменьшает стоимость системы, а также обеспечивает пользователю возможность управлять программными средствами измерения и обработки данных. Хотя существует множество вариантов выбора конфигурации модульной аппаратуры, основное отличие этого подхода от концепции традиционных измерительных приборов состоит в том, что ПО модульных систем является открытым и пользователи могут создавать собственные процессы измерений в соответствии с изменениями задач испытаний или при необходимости выполнения измерений, нереализуемых традиционными приборами.

Важно отметить, что модульный подход не означает, что синхронизация приборов или каналов ухудшается в сравнении с традиционными приборами, в которых все функции реализованы в одном корпусе. Напротив, модульные приборы специально разработаны для интеграции в систему. Все модульные приборы обладают возможностями тактирования и синхронизации общими задающими генераторами и схемами запуска. Например, в целях обеспечения наивысшей точности синхронизации приборы для узкополосной связи, связи на промежуточных (IF) или высоких (RF) частотах могут синхронизироваться между собой с межприборной расфазировкой менее 100 пикосекунд – меньше, чем расфазировка между несколькими каналами одного и того же прибора.

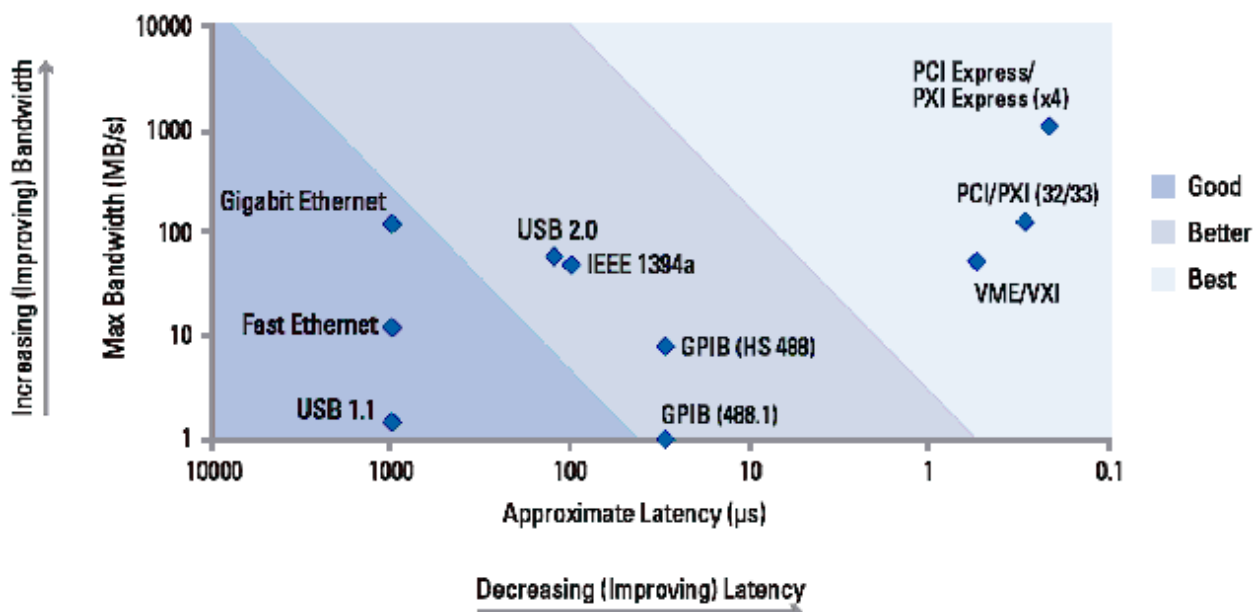
## Модульность снижает стоимость и уменьшает размеры, увеличивает производительность и продлевает срок эксплуатации

Термин "модульный" иногда неправильно используется в отношении лишь компоновки аппаратных средств, однако модульное приборостроение – это больше, чем просто механическая сборка. Пользователи могут получить от модульной измерительной системы три качества – сниженную стоимость и меньшие размеры – благодаря общим шасси, объединительной панели и процессору; большую производительность – благодаря высокоскоростному соединению с хост-процессором; большие гибкость и срок эксплуатации – благодаря определяемому пользователем ПО.

Как подробно описано выше, все приборы в модульной измерительной системе разделяют общий источник питания, шасси и контроллер. В автономных приборах источник питания, шасси и/или контроллер дублируются в каждом приборе, что увеличивает стоимость и размеры, снижает надежность системы. Фактически для каждой автоматизированной испытательной системы требуется ПК, независимо от используемой шины; модульная архитектура, которая разделяет контроллер между приборами, распределяет эту цену по всей системе. В модульной измерительной системе ПК – процессоры с тактовой частотой порядка ГГц управляют измерениями и обрабатывают данные с помощью ПО. В результате производительность модульной системы тестирования оказывается от 10 до 100 раз выше, чем производительность системы, построенной исключительно на традиционных приборах, где используется встроенное ПО, определяемое изготовителем, и специализированные процессоры. Например, обычный векторный анализатор сигнала (VSA) выполняет 0.13 измерений мощности в полосе частот за единицу времени, а за то же время модульный анализатор сигнала NI VSA может выполнять 4.18 подобных измерений – в 33 раза больше.

Модульным приборам требуются шины с высокой пропускной способностью и низким временем задержки подключения контрольно-измерительных модулей к общему процессору для выполнения измерений, определяемых пользователем. В то время, как USB предоставляет отличные потребительские свойства в смысле простоты использования, PCI and PCI Express (и, соответственно, основанная на этих шинах платформа PXI) обеспечивают самую высокую производительность в модульных приборах. В настоящее время PCI Express предоставляет слоты с пропускной способностью для каждого слота до 4 Гб/с, а PXI до 2 Гб/с – в 33 раза больше, чем высокоскоростной USB, в 160 раз больше, чем 100 Мб/с Ethernet, и даже в 16 раз больше, чем развивающийся гигабитный Ethernet (рисунок 4). Периферийные шины, такие, как LAN и USB, всегда подключаются к процессору ПК через внутренние шины, например, PCI Express, и, таким образом, их производительность, по определению, всегда ниже. В качестве примера того, как высокоскоростные шины могут влиять на испытания и измерения, рассмотрим модульную систему измерений радиочастотных сигналов. Слот PCI Express x4 (2 Гб/с) в настольном ПК или системе PXI может передавать по двум каналам поток 16-разрядных результатов измерений сигналов промежуточной частоты при скорости 100 миллионов отсчетов в секунду прямо на процессор для проведения вычислений. Поскольку ни LAN, ни USB не удовлетворяют этим требованиям, приборы, которым необходим подобный уровень производительности, всегда содержат встроенный, установленный производителем процессор для выполнения измерений, в этом случае такие приборы более не являются модульными.





**Рисунок 4.** PCI и PCI Express обеспечивают наибольшую ширину полосы пропускания и наименьшее время задержки, уменьшают время испытаний, а также предоставляют гибкость и долговечность благодаря пользовательскому ПО

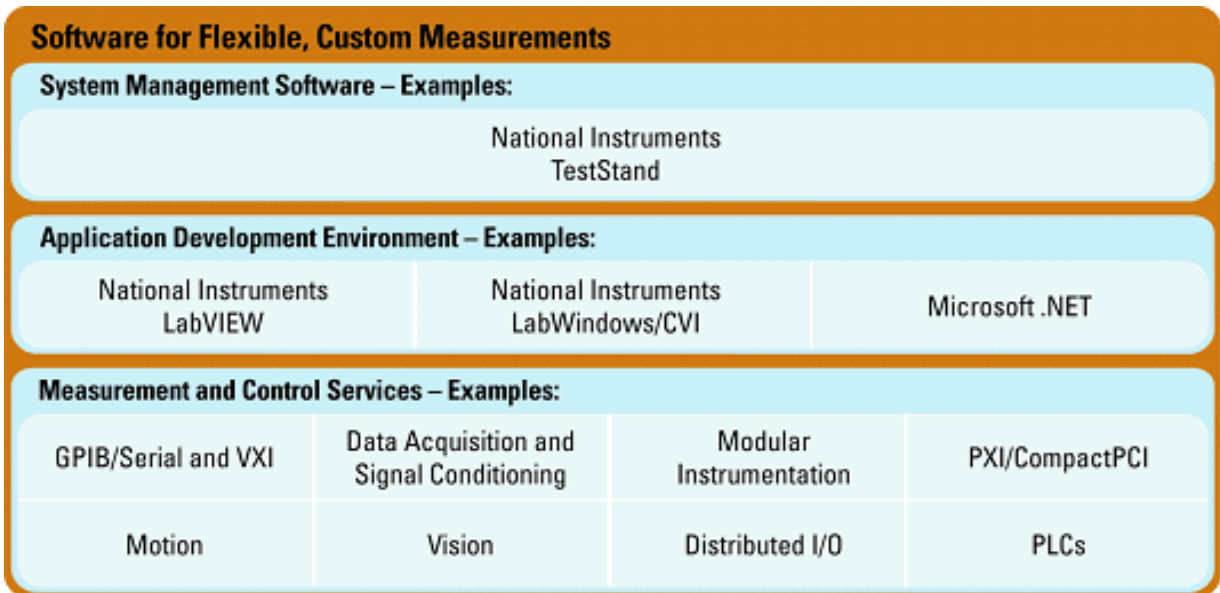
Increasing (Improving) Bandwidth – увеличение (улучшение) ширины полосы пропускания, Max Bandwidth (MB/s) – максимальная ширина полосы пропускания (МБ/с),  
 Approximate Latency (µs) – приблизительное время задержки (мкс), Decreasing (Improving) Latency - уменьшение (улучшение) времени задержки, Good – хорошее, Better – лучшее, Best – наилучшее

В модульных приборах высокоскоростное подключение к хосту-компьютеру обеспечивает гибкость и долгий срок эксплуатации, поскольку позволяет программному обеспечению находиться на хосте, а не в самом приборе. Если ПО выполняется на хост-компьютере, пользователь, а не изготовитель, определяет, как работает прибор. Такая архитектура дает вам возможность: 1) выполнять измерения, недостаточно распространенные, чтобы быть включенными в типичный список функций, определяемых производителями немодульных приборов; 2) создавать нестандартные средства измерения; 3) реализовать алгоритмы, используемые при выполнении специальных видов измерений. Свойство ПО, определяемого пользователем, означает также, что при изменении объекта испытаний вы можете добавлять или модифицировать функции измерения и даже сами приборы. Вы можете также использовать непосредственный доступ к ПО для наблюдения или управления этими модульными приборами через сеть.

Стоит отметить, что эти реализации аппаратных средств не ухудшают характеристики измерительных систем. В настоящее время приборы, разрабатываемые в соответствии с модульным подходом, включают промышленные дигитайзеры с высочайшим разрешением, генераторы сигналов произвольной формы с наибольшей полосой пропускания и наиболее точный 7½-значный цифровой мультиметр.

### Программное обеспечение для гибких, нестандартных измерений

Роль программного обеспечения в модульных приборах не может быть преувеличена. Программное обеспечение преобразует необработанный битовый поток, получаемый от аппаратных средств, в значимые результаты измерений. Хорошо спроектированная модульная измерительная система содержит несколько уровней ПО, включая драйверы ввода-вывода, средства разработки приложений и организации испытаний, как показано на рисунке 5.



**Рисунок 5.** Уровни программного обеспечения, часто используемые в модульной измерительной системе

**System Management Software – Examples** – программное обеспечение управления системой – примеры: (National Instruments TestStand);

**Application Development Environment – Examples** – среда разработки приложений – примеры: (National Instruments LabVIEW, LabWindows CVI, Microsoft.Net);

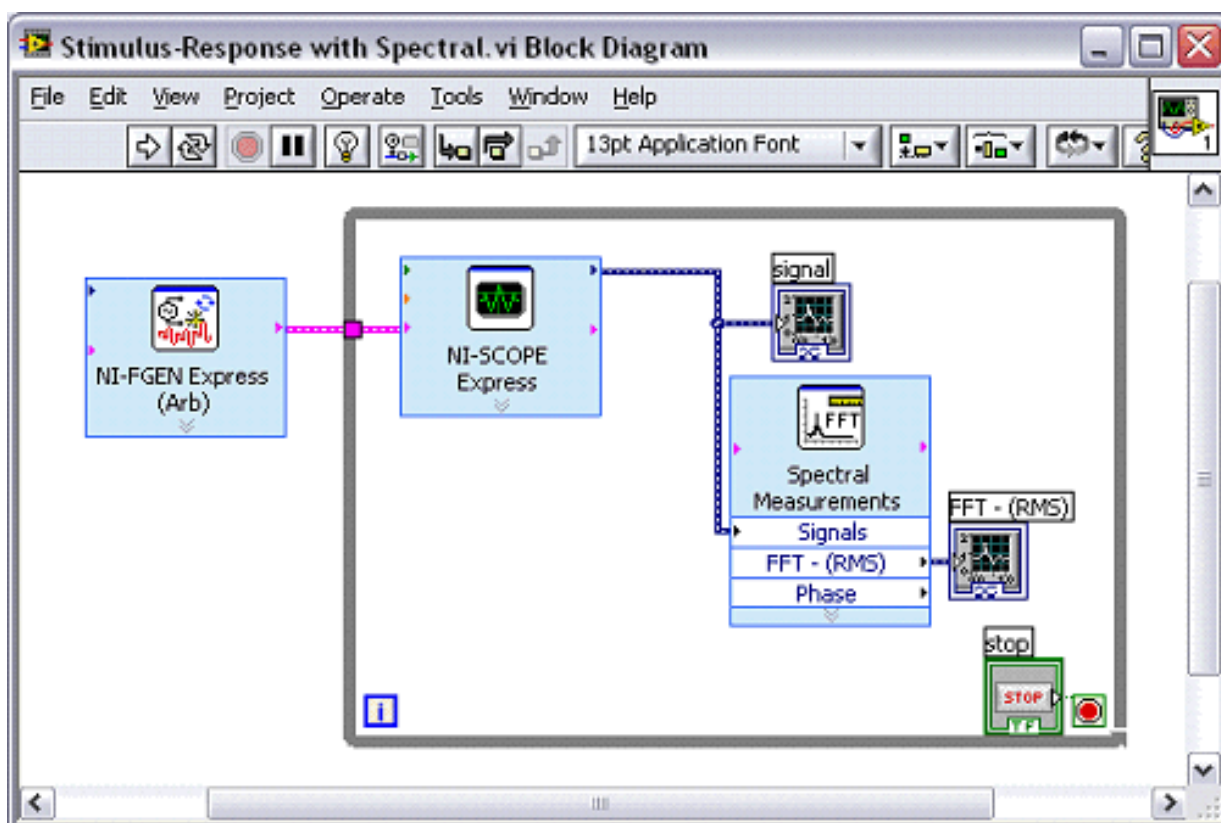
**Measurement and Control Services – Examples** – службы измерения и управления – примеры: (GPIB/Serial and VXI – стандартные интерфейсы измерительных систем, Data Acquisition and Signal Conditioning – сбор данных и преобразование сигналов, Modular Instrumentation – модульные измерительные приборы, PXI/CompactPCI - стандарты измерительных систем, Motion – управление движением, Vision – машинное зрение, Distributed I/O – распределенный ввод-вывод, PLCs – программируемые логические контроллеры (ПЛК))

Нижний уровень, службы измерения и управления, является одним из наиболее критичных элементов модульной измерительной системы, на который часто не обращают внимания. Этот уровень представляет собой ПО драйверов ввода-вывода и инструменты для конфигурирования аппаратных средств. Программное обеспечение драйверов особо важно, поскольку обеспечивает связь между ПО разработки испытаний и контрольно-измерительной аппаратурой.

Инструментальные драйверы предоставляют набор высокоуровневых, удобочитаемых для человека функций, обеспечивающих взаимодействие с приборами. Каждый инструментальный драйвер специально разработан под конкретную модель прибора для интерфейса с его уникальными характеристиками. Особенно важна в инструментальном драйвере его интеграция со средой разработки, так что команды прибору являются составной частью разработки приложения. Разработчикам систем необходимы интерфейсы инструментальных драйверов, оптимизированные под выбранную среду разработки, например, NI LabVIEW, C, C++ или Microsoft .NET.

В службах измерения и управления имеются также и средства конфигурирования. Они включают ресурсы для настройки и тестирования ввода-вывода, хранения информации о масштабировании, калибровке, а также информации о псевдонимах каналов (channel-aliasing). Эти инструменты важны для быстрой разработки измерительной системы, а также для поиска неисправностей и обслуживания.

ПО уровня среды разработки приложений предоставляет инструменты для разработки кода или процедуры приложения. Хотя при проектировании модульных измерительных систем не обязательно использовать средства графического программирования, однако их часто применяют, поскольку они упрощают и ускоряют процесс разработки. В графическом программировании используются "иконки" или символьные функции, которые графически отображают выполняемое действие, как показано на рисунке 6. Эти символы соединяются "проводниками", по которым передаются данные и которыми определяется порядок выполнения функций. LabVIEW – широко используемая в промышленности и наиболее функционально полная среда графического проектирования.



**Рисунок 6.** Код типичного приложения "стимул-реакция", разработанный в LabVIEW и используемый в модульных измерительных приборах

- (1) генератор сигналов произвольной формы формирует тестовый сигнал;
- (2) дигитайзер/осциллограф собирает данные о сигналах реакции тестируемого объекта;
- (3) выполняется быстрое преобразование Фурье (FFT);
- (4) пользовательский интерфейс (лицевая панель) – результаты БПФ отображаются на графике

В некоторых приложениях необходим также дополнительный уровень управления программным обеспечением – для управления исполнением тестов или для визуализации тестовых данных. Это уровень программного обеспечения управления системой – System Management Software. Для высокоавтоматизированных испытательных систем ПО организации испытаний является основой для задания последовательности испытаний, ветвлений/циклов, формирования отчетов и интеграции с базами данных. Инструмент организации испытаний должен также обеспечивать глубокую интеграцию со средой разработки, в которой создается код приложений. Например, система NI TestStand обеспечивает также основу для задания последовательности, ветвления, формирования отчетов и интеграции с базами данных, при этом TestStand совместима со всеми



распространенными средами проектирования. В других приложениях, где требуется обзор больших объемов тестовых данных, могут пригодиться другие инструменты, например, для быстрого доступа к большим объемам рассредоточенных данных, создания унифицированных отчетов и визуализации данных. Эти программные инструменты помогают в организации и обработке данных, полученных в процессе измерений и/или сгенерированных в процессе моделирования, а также при создании отчетов.

В модульной измерительной системе должен быть продуман каждый уровень рассматриваемой программной архитектуры.

## **Модульные приборы соответствуют требованиям к автоматизированным испытаниям**

По мере того, как тестируемые объекты становятся все более сложными и используют самые различные технологии, испытательные системы должны становиться более гибкими. Испытательные системы со временем должны приспосабливаться к изменениям объектов, а давление стоимости требует более длительного срока жизни систем. Единственный способ добиться выполнения этих требований заключается в использовании программируемой модульной архитектуры. Благодаря совместному использованию компонентов, высокоскоростным шинам и открытому, определяемому пользователем ПО, модульные измерительные приборы наилучшим образом подходят для удовлетворения нужд автоматизированных систем тестирования и сегодня, и в будущем.

## **Продукция NI и информационные материалы по обсуждаемой теме**

National Instruments, лидер в области автоматизации испытаний, обязуется предоставлять аппаратные и программные средства, необходимые инженерам для создания испытательных систем следующего поколения.

### **Программное обеспечение**

- Система организации испытаний NI TestStand
- Среда графического программирования LabVIEW
- Интерактивное ПО для измерений Signal Express

### **Аппаратные средства**

- Модульные измерительные приборы (осциллографы, мультиметры, оборудование для радиоаппаратуры, коммутаторы и т.п.)
- Многофункциональные устройства сбора данных
- Компоненты систем PXI (шасси и контроллеры)
- Средства управления измерительными приборами (GPIB, USB и LAN)

### **Библиотеки ресурсов проектирования испытательных систем**

Компанией National Instruments разработана обширная коллекция технических руководств, предназначенных для помощи в разработке всех компонентов испытательных систем. Содержимое этих руководств базируется на передовом опыте ведущих команд инженерии испытаний, участвующих в консультативном комитете пользователей продукции NI (NI customer advisory boards), а также на экспертной оценке и опыте коллективов NI в области испытательной техники, исследований и разработки продукции. Эти ресурсы, в конечном счете, обучат вас современным методам инженерии испытаний,

которые вы сможете в дальнейшем неоднократно использовать на практике. Вы можете загрузить руководства из Библиотеки разработки систем испытаний (Test System Development Resource Library).