

## ***Компьютерные измерительные устройства***

Главные недостатки микропроцессорных приборов – невысокое быстродействие, ограниченный объем памяти, малая разрядность (наиболее дешевые 8-разрядные МПС имеют разрешающую способность  $1/256 \approx 0.4\%$ , что для современных измерений недостаточно). Использование 12-16 разрядных МПС увеличивает стоимость и снижает быстродействие. Ограниченный объем ПЗУ не позволяет хранить программы большого размера. Простые программы малоинтеллектуальны, требуют вмешательства оператора, а при этом появляется вероятность ошибочных действий. Требуются специальные методы программирования. Кроме этого, нестандартные блоки приборов вызывают их удорожание и сложности в ремонте.

Один из путей улучшения ситуации состоит в использовании универсальных персональных компьютеров в составе измерительной установки. Она включает персональный компьютер, соединенный с измерительными блоками и программное обеспечение для выполнения измерений.

Можно выделить два принципа использования компьютеров в измерительной технике:

- Создание измерительно-вычислительного комплекса на основе измерительной системы со стандартным интерфейсом. Соединение простых автономных приборов в систему, обменивающуюся данными с компьютером – очевидный путь объединения измерительных блоков и вычислительных средств. Это направление будет рассмотрено в следующей главе, однако отметим, что создание измерительной системы в ряде случаев избыточно и дорого из-за необходимости реализации стандартного интерфейса.
- Использование персонального компьютера с измерительными преобразователями в виде плат ввода/вывода, включаемыми в системную шину компьютера или соединенными с ним простыми средствами связи. Такие приборы будем в дальнейшем называть *компьютерными измерительными устройствами (КИУ)*.

### Преимущества КИУ:

- Универсальный компьютер – достаточно простой и доступный инструмент, используемый не только для измерений.
- Не требуется обучения оператора (при повальной компьютерной грамотности)
- Компьютер имеет высокое быстродействие, большую разрядность (32 или 64 бит) и объем памяти, причем ее размер легко может быть увеличен
- Большой объем стандартного программного обеспечения (операционные системы, программы управления компьютером, стандартные среды обработки данных типа

Матлаб, Маткад и пр.)

- Стандартные, высокопроизводительные и надежные методы программирования на языках высокого уровня
- Большая емкость постоянной памяти (жесткие диски и др.)
- Легкость смены и обновления программного обеспечения, возможен обмен ПО и использование собственных разработок
- Легкость включения КИУ в компьютерные сети и глобальную сеть Интернет.

Реализация КИУ может идти:

- «от измерительного прибора» – используется установка, включающая конструктивно самостоятельные измерительные блоки, связанные с компьютером простыми стандартными средствами передачи информации, а также специализированные компьютеры в промышленном исполнении, включающие измерительные устройства и блоки;
- «от компьютера» - универсальный компьютер, использующий встраиваемые измерительные платы (наиболее распространенный вариант) или выносные платы и блоки, связанные с компьютером по его портам LPT, COM, по системной шине компьютера- то есть стандартным для компьютера способом.

Рассмотрим варианты построения КИУ, которые реализуются одной из наиболее известных фирм в этой области National Instruments (г. Остин, Техас, США). ([www.ni.com](http://www.ni.com)). Эта относительно молодая компания сумела за двадцать с лишним лет своего существования стать лидером в области использования ПК-технологий для решения широкого круга измерительных задач и задач управления. Основная особенность всех продуктов National Instruments - максимальное использование открытых, широко распространенных технологий для решения как простых, так и очень сложных задач измерений и управления. Перечень выпускаемых National Instruments программ и устройств едва умещается в почти 1000-страничный каталог. Компания входит в 200 наиболее успешно развивающихся компаний США.

Основой построения КИУ является плата измерительных преобразователей, которую называют DAQ (Data Acquisition) Board. Она имеет стандартный интерфейс для связи с компьютером. Нашли распространение несколько типов интерфейсов - по шине ISA, PCI, CompactPCI, PCMCIA, USB и др. В состав плат входят следующие узлы и блоки:

- 1) аналоговые входы для подачи измерительных сигналов. Они могут быть изолированными от общего провода, дифференциальными, специализированными для определенного типа датчиков (например, термопар)

- 2) Усилители аналоговых сигналов
- 3) фильтры помех и наводок
- 4) преобразователи формы сигналов, детекторы ВЧ сигналов
- 5) функциональные корректоры характеристик датчиков
- 6) мультиплексоры сигналов
- 7) Аналого-цифровые преобразователи
- 8) аналоговые выходы для питания датчиков, создания эталонных сигналов и пр.
- 9) цифро-аналоговые преобразователи для генерации тестовых сигналов
- 10) цифровые блоки ввода/вывода для сигналов управления и ввода цифровой измерительной информации
- 11) Таймеры и счетчики – для измерения временных интервалов и синхронизации работы блоков
- 12) цифровые сигнальные процессоры (DSP – digital signal processor) – специализированные микропроцессоры для обработки преобразованных сигналов прямо на плате. Их использование позволяет повысить быстродействие КИУ за счет разгрузки основного процессора компьютера и применяется для работы с быстрыми сигналами в реальном масштабе времени. Например, сигнальный процессор может решить задачу спектрального анализа в реальном масштабе времени, производя операцию быстрого преобразования Фурье над дискретизированным входным сигналом непосредственно на измерительной плате.

Платы, используемые для создания КИУ, можно разделить на несколько групп:

- 1) Универсальные многовходовые платы сбора данных. применяется для устройств сбора информации от большого количества датчиков. Обычно содержат как аналоговые, так и цифровые входы и выходы. На рис 1.6. показана плата NI PCI



Рис. 1.6

6230, которая имеет 8 аналоговых входов, 16 разрядный АЦП со скоростью преобразования 250 Кслов /с, 4 аналоговых выходов (16 битный ЦАП), 6 цифровых входов, 4 цифровых выхода)

- 2) Платы цифрового ввода/вывода.
- 3) Платы таймер/счетчик. Содержит счетчик входных импульсов и образцовый генератор временных интервалов(таймер). Платы позволяют построить электронно-счетный частотомер и измеритель временных интервалов.
- 4) Платы быстродействующих АЦП, реализующих возможность осциллографирования сигналов. На рис. 1.7 представлена плата быстродействующего осциллографа NI PCI 5114. Она позволяет построить двухканальный быстродействующий цифровой осциллограф с о скоростью преобразования 250 Кслов/с в реальном масштабе времени и до 5 Гслов/с в стробоскопическом режиме для повторяющихся сигналов. Плата имеет встроенную память 256 Мб и обеспечивает анализ сигналов от 40 мВ до 40 В.
- 5) Платы функциональных генераторов сигналов. Это платы содержат ЦАП и позволяют программно задавать любую форму выходного аналогового сигнала. В качестве примера можно привести палату NI PCI 5412, которая содержит 14-битный ЦАП, работающий с тактовой частотой до 100 Мслов/с, что позволяет



Рис. 1.7

обеспечить диапазон частот до 20 МГц.

- б) Платы многофункциональных измерителей параметров сигналов. Это прежде всего универсальные мультиметры (DMM - Digital MultiMeter). Содержат, кроме АЦП, набор функциональных преобразователей, расширяющих список измеряемых физических величин ( напряжение, ток, сопротивление и др.). На рис. 1.8 приведен внешний вид мультиметра NI 4065, который позволяет измерять постоянное и переменное напряжение и ток, активное сопротивление и проверять р-п переходы полупроводниковых диодов.

Мультиметр имеет разрешающую способность  $6 \frac{1}{2}$  десятичных разряда, быстродействие до 3000 измерений в секунду

Недостатком встраиваемых плат является сложность подключения сигналов с задней панели компьютера. Особенно это неудобно в промышленных условиях проведения измерения. Для

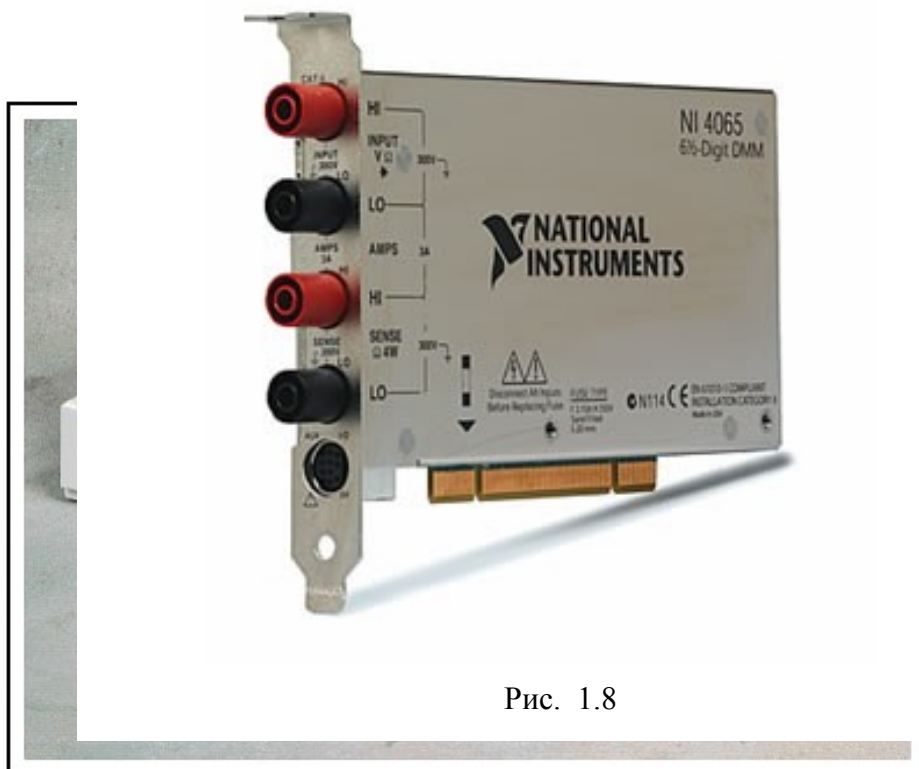


Рис. 1.8

Рис. 1.9

такого случая предусмотрена модульная система согласования и коммутации измерительных сигналов SCXI (Signal Conditioning Extensions for Instrumentation). На рис.1.9 представлен вариант построения КИУ, который включает выносное шасси с установленными в него входными аналоговыми и цифровыми модулями подключения измерительных сигналов. Модули служат интерфейсом для подключения разнообразных датчиков и сигналов и повышают качество измерений путем усиления, изоляции, мультиплексирования, фильтрации. Они включают блоки питания датчиков, устройства выборки и хранения и коммутации сигналов. Это шасси является, по сути, высокоскоростным коммутатором

сигналов и снабжено интерфейсом SCXIBus, который содержит аналоговые и цифровые линии передачи. Скорость передачи информации по интерфейсу от 333Кслов/с в мультиплексном режиме до 1,2 Мслов/с в параллельном режиме. Шасси связывают многопроводной линией передачи с измерительной платой, включаемой в системную шину компьютера. Весьма актуальным является применение системы SCXI для ноутбуков и других малогабаритных компьютеров, где применение большого количества измерительных плат невозможно (обычно можно использовать не более двух с интерфейсом PCMCIA).

Другим способом создания КИУ на основе измерительных плат – это использование модульных измерительных систем, базирующиеся на открытом промышленном стандарте PXI (PCI eXtention for Instrumentation). Они обладают всеми преимуществами технологии ПК, такие как низкая стоимость, простота использования и гибкость (рис.1.10).

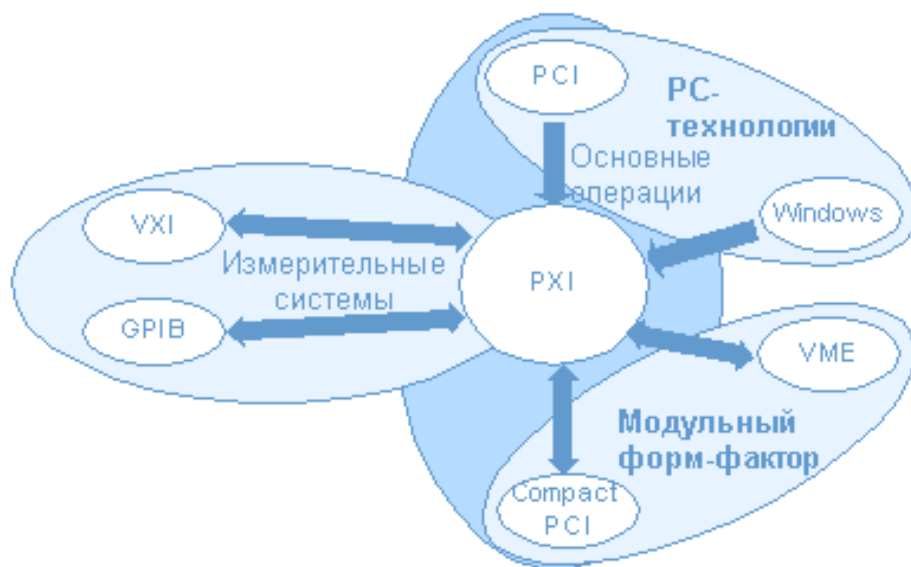


Рис. 1.10

Достигается относительно невысокая стоимость аппаратуры ввиду совместимости по многим параметрам с обычными PCI-устройствами и полной программной совместимости с обычными ПК-технологиями (операционная система Windows, технология Plug&Play и т.д.). PXI система представляет собой шасси на базе встроенной высокоскоростной шины CompactPCI, в которое могут быть установлены модули ввода/вывода. Такая шина допускает установку до 8 PCI-устройств (в обычном ПК не больше 4). Фронтальное расположение модулей расширения обеспечивает минимальное время замены модуля и подключения сигналов. Модульный конструктив (Евромеханика 3U, 6U) CompactPCI используется в промышленных компьютерах, где требуется повышенная надежность и производительность. Высоконадежные соединители обеспечивают многократные циклы установки модулей и повышают вибростойкость.

Использование шины PCI обеспечивает значительно большую производительность по сравнению с другими шинами. Пропускная способность шины PCI составляет 132 Мбайт/с (32 разряда, 33 МГц). Это более чем в 100 раз превышает, пропускную способность GPIB интерфейса. Кроме того, PCI имеет дополнительные линии тактирования и синхронизации, что обеспечивает высокий уровень интеграции отдельных модулей.

Стандарт PXI был введён в 1997 году как открытый промышленный стандарт альянсом PXISA (PXI Systems Alliance [www.pxisa.org](http://www.pxisa.org)), состоящим из 68 компаний, которые сейчас производят более тысячи различных PXI продуктов. Подбирая PXI модули из широкого диапазона измерительных устройств, производимых компаниями-членами PXI альянса, можно создавать системы для различных приложений, от комплексных измерений до автоматизированного контроля качества.

Стандарт PXI использует PC-совместимое оборудование и платформу Windows. Система PXI включает в себя корзину-шасси, в слоты которого вставлены PXI-совместимые платы-модули, аналогичные по назначению рассмотренным выше. Одно PXI шасси может содержать до 7 измерительных модулей. (рис.1.11)



Рис. 1.11

Для PXI также заданы жесткие требования по электромагнитной совместимости, питанию и вентиляции модулей. Не лишним будет упоминание о виброзащищенности конструкции. Левый PCI-слот в корзине PXI предназначен исключительно для размещения компьютерного модуля системного контроллера. Слева от системного слота оставлено свободное место для расширения устанавливаемого компьютера. Справа остается семь свободных PCI-слотов для модулей ввода/вывода (их количество можно увеличить до 13 с помощью моста PCI-PCI). Шасси может быть связано с внешним персональным компьютером с помощью контроллеров и последовательной линии связи. Например, интерфейсный набор PXI-PCI 833x позволяет управлять PXI системой непосредственно с персонального компьютера, используя прозрачное для пользователя высокоскоростное последовательное соединение MXI-4. Применяя данный интерфейс, можно использовать современные настольные ПК, имеющие низкую стоимость и высокую производительность, для управления PXI системами. MXI-4



состоит из PCI платы, встраиваемой в ПК и PXI модуля, встраиваемого в 1 первый слот PXI шасси. Плата и модуль связаны медным или оптоволоконным кабелем (рис.1.12).

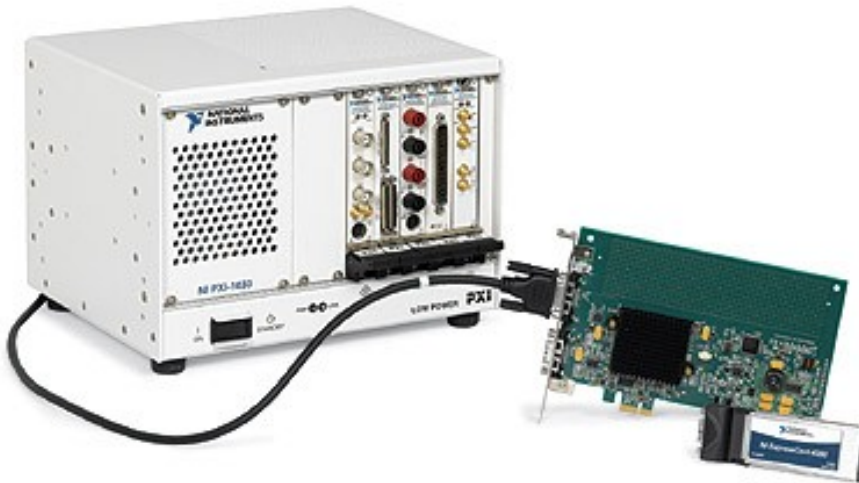


Рис. 1.12

Кроме этого MXI-4 может также использоваться для объединения нескольких PXI шасси в составе одной системы (рис.1.13)

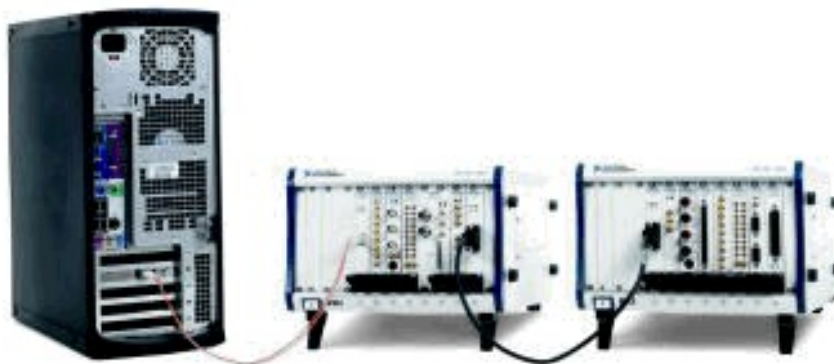


Рис. 1.13

Другой вариант – использование контроллера – модуля персонального компьютера формата CompactPCI, вставляемого в шасси (рис.1.14).



Рис. 1.14

В этом случае установка включает в себя собственно шасси с контроллером и измерительными блоками и подключенными к контроллеру дисплея и клавиатуры. Для реализации удаленного управления PXI используют сетевые PXI контроллеры, которые обеспечивают передачу данных и управление устройством через Интернет.

### ***Программное обеспечение КИУ. Виртуальные приборы***

*Программное обеспечение КИУ* – основа создания виртуального прибора. Именно программное обеспечение определяет функцию прибора, его назначение и основные характеристики, степень автоматизации и пр. ПО КИУ делится на:

1. Базовое – драйверы плат, библиотеки драйверов. Часто поставляются в виде расширения широко распространенных языков программирования. Сюда можно отнести и законченные специализированные программы управления измерительными платами и блоками, проблемно-ориентированные программы для решения ограниченного круга измерительных задач. Это обеспечение поставляется вместе с измерительными платами.
2. Универсальное – комплексы программ, рассчитанные на реализацию измерительных задач разного типа и ориентированные на работу с различными платами. Сюда

относят прикладные проблемно-ориентированные пакеты программ и инструментальные пакеты для сбора, обработки и визуального представления информации.

### 3. Программы, реализующие виртуальные приборы (ВП) (VI –Virtual Instruments).

Под *виртуальным* («кажущимся») прибором понимают средство измерений для сбора, обработки и визуального представления измерительной информации, построенное на базе персональных компьютеров (ПК) и встраиваемых в компьютер многофункциональных и многоканальных измерительных плат. В виртуальных приборах могут использоваться также программно-управляемые внешние модули предварительной обработки сигналов и автономные измерительные приборы с различными интерфейсами. В отличие от традиционных средств, их функции, пользовательский интерфейс, алгоритмы сбора и обработки информации определяются пользователем, а не производителем. Эти средства называются виртуальными по двум основным причинам:

- С помощью одного и того же аппаратного и программного обеспечения можно сконструировать систему, выполняющую совершенно различные функции и имеющую различный пользовательский интерфейс.
- Управление такими системами, как правило, осуществляется через графический пользовательский интерфейс (Graphics User Interface - GUI) при помощи технологии Drag-and-Drop («Перенёс и положил») с использованием манипулятора «мышь» и виртуальных элементов управления, расположенных на виртуальных приборных панелях.

Виртуальные приборы являются компьютерными измерительными устройствами, построенные на следующих типах аппаратного обеспечения:

- Встраиваемые платы сбора данных (DAQ boards).
- Платы со встроенными процессорами (DAP – boards), в том числе и со специализированными сигнальными процессорами
- Программно-управляемые внешние модули предварительной обработки и коммутации сигналов типа SCXI
- Законченные программно-управляемые приборы, работающие с различными интерфейсами (RS-232C, IEEE488 ( GPIB), VXI и др.)

Управление виртуальным прибором состоит в имитации нажатия кнопок на экране, поворота ручек и пр. Достоинство виртуальных приборов заключается в простоте управления, лучшем понимании логики работы измерительного устройства, особенно операторами, не владеющими компьютерными технологиями в совершенстве.

Наиболее известная программная среда конструирования виртуальных приборов - это система LabView фирмы NI, позволяющая на основе компьютера создать образ реального измерительного прибора. (рис.1.15).

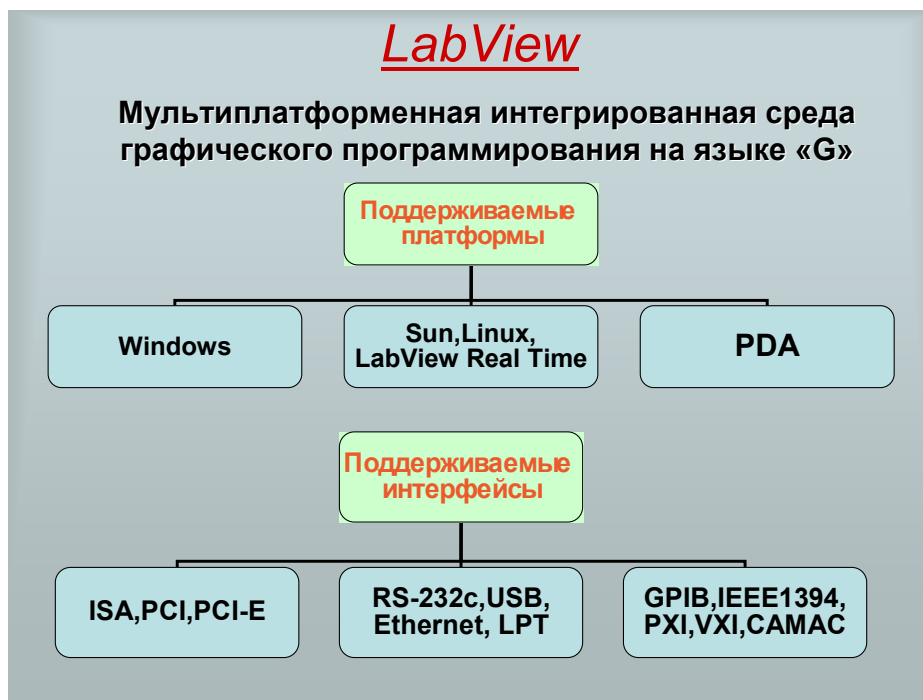


Рис. 1.15

LabVIEW сегодня самое популярное средство программирования измерительных и управляющих компьютерных комплексов. Среднестатистический пользователь LabVIEW - инженер, ученый, разрабатывающий реальную компьютерную систему ввода/вывода и обработки сигналов различной природы (температура, звук, видео и др. или их модели), человек, который не может окунаться в тонкости программирования для современных операционных систем. Когда конфигурация и функциональная схема системы определены, вопрос рутинного программирования становится зачастую камнем преткновения и главным тормозом в работе. Более десяти лет назад National Instruments предложила и запатентовала новый, графический язык программирования "G", являющийся основой системы LabVIEW. Опираясь на знакомые понятия: функциональный блок, соединение, диаграмма, инженер быстро и наглядно решает поставленную задачу, не углубляясь в дебри программирования. Таким средством программирования может воспользоваться любой человек, знакомый с функциональными блок-диаграммами, а не только высококвалифицированный программист. По самым скромным оценкам у разработчиков на LabVIEW сроки выполнения работ сокращаются как минимум в 4-10 раз. Если при этом принять во внимание, что LabVIEW компилирует графические картинки (блок-диаграммы) в высокоэффективный машинный код, что обеспечивает высокую скорость выполнения программ, то популярность такого решения

становится понятна.

Высокую надежность программного обеспечения виртуальных приборов обеспечивает широкое использование готовых (и многократно оттестированных другими программистами) программных модулей. Это программы-драйвера устройств ввода/вывода сигналов, полный набор математики от элементарной арифметики до сложной обработки сигналов, индикаторы, переключатели и графики на лицевой панели, функции для работы с массивами и сложными структурами данных, функции сетевого взаимодействия и др. LabVIEW имеет более 400 встроенных функций обработки и анализа сигналов, в том числе: FFT, анализ во временной и частотной области, генераторы сигналов, математические функции, интерполяция, и многие другие.

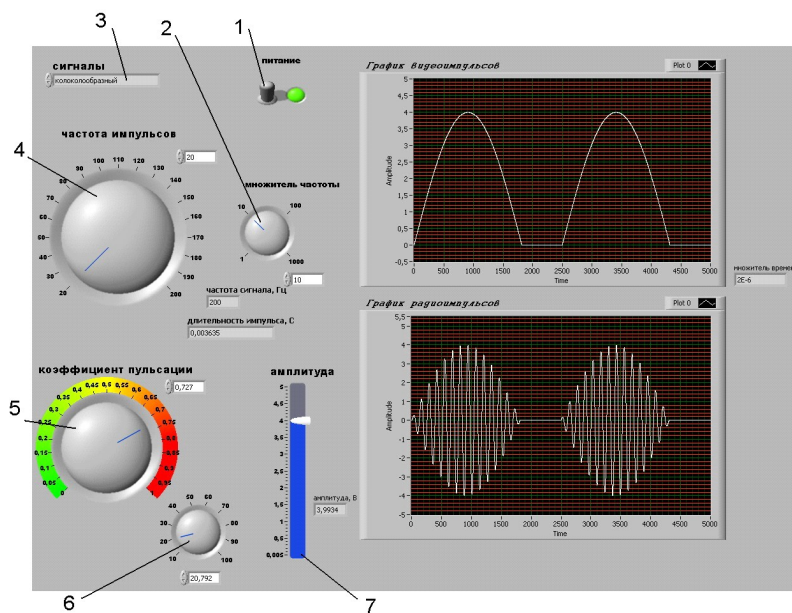
LabVIEW предоставляет широчайший выбор средств для создания пользовательских интерфейсов и представления данных.

Идея использования программной среды LabView проста: вы создаете виртуальный прибор - VI (Virtual Instrument) - аналог традиционных измерительных устройств.

Можно выделить следующие этапы программирования:

- Выбор или создание блоков , отвечающих за взаимодействие с аппаратной частью КИУ. В данном случае их называют драйверами плат, блоков, приборов. Для большинства широко используемых плат такие драйвера уже разработаны и поставляются вместе с платами.
- Выбор элементов управления и разработка внешнего вида виртуального прибора (эквивалента передней панели реального средства измерения) (рис.1.16)

Она включает в себя различные компоненты ввода и вывода – кнопки, регуляторы вращения



Передняя панель виртуального генератора импульсов

Рис. 1.16

и перемещения (слайдеры), ввод численных значений и индикаторы результаты (числовые и графические) (рис.1.17 )

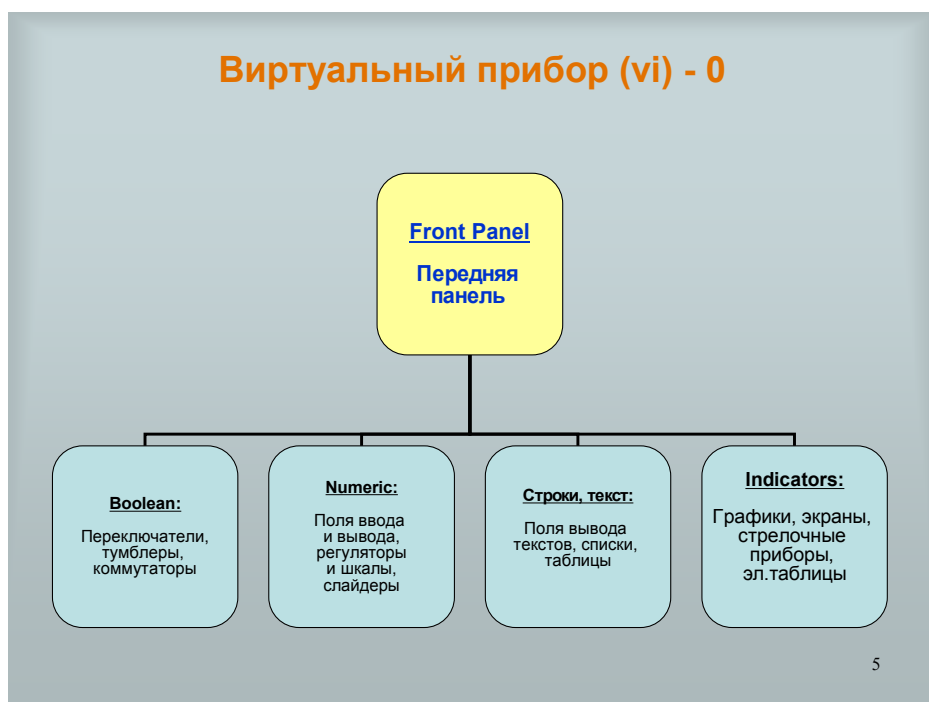
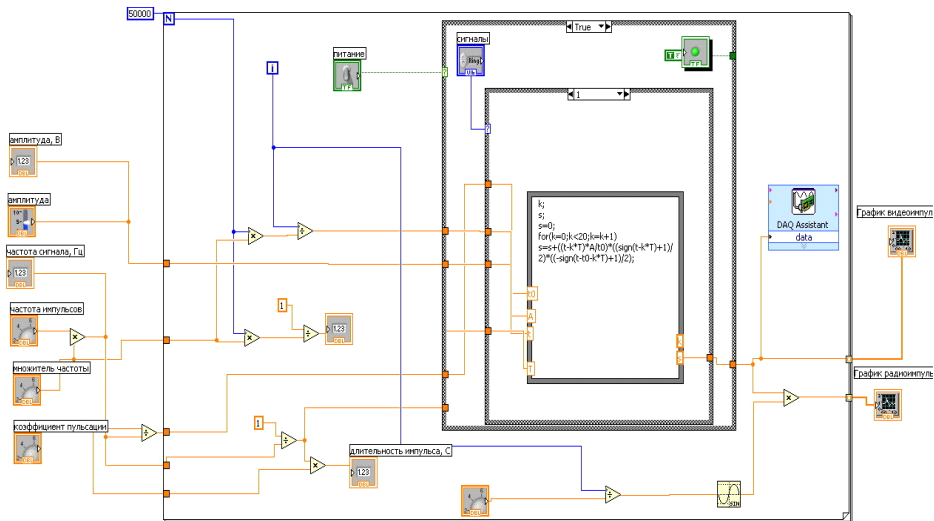


Рис. 1.17

- Разработка внутренней структуры прибора, отражающей алгоритм функционирования , потоки сигналов и их преобразование. Функционирование такого прибора определяет блок-диаграмма (например, рис. 1.18).



**Блок-схема виртуального генератора импульсов**

Рис. 1.18

Практически все блоки схемы являются стандартными, находящимися в библиотеке системы LabView. Классификация элементов блок-схем LabView представлена на диаграммах рис.1.19 –рис1.21)

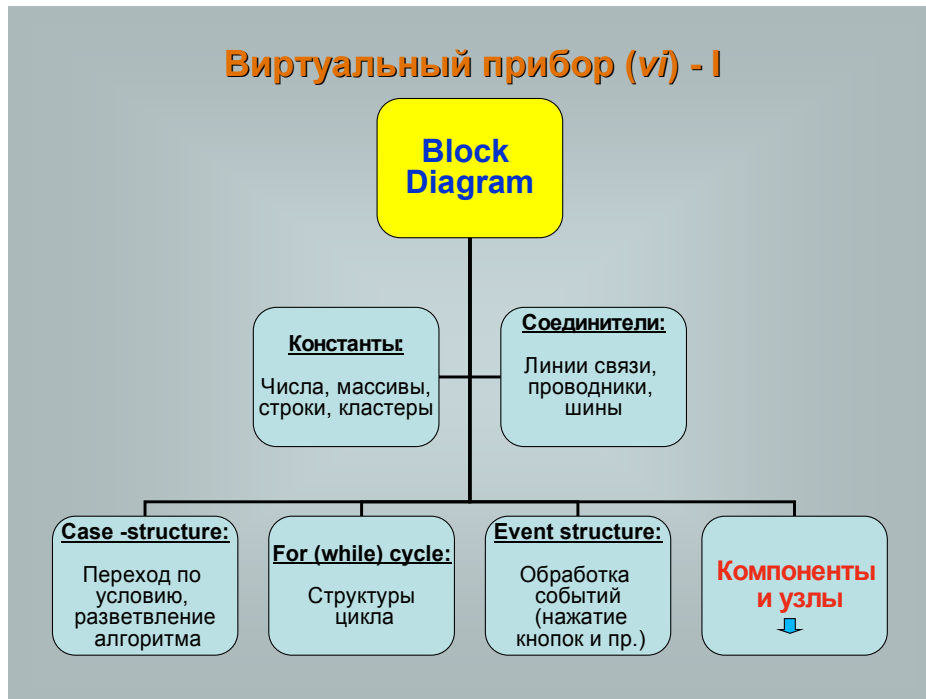


Рис. 1.19



Рис. 1.21

- Собственно создание схемы, которое заключается в соединении входов и



выходов блоков проводниками и шинами связи.

- Отладка и тестирование виртуального прибора. Производят путем подачи образцовых сигналов на входы, контролем выходных сигналов плат

Виртуальный прибор позволяет осуществлять модульный принцип построения - на основе подпрограмм - субприборов (SubVI), что позволяет реализовать объектно-ориентированный принцип программирования. Иерархия модулей в программах LabView представлена на диаграмме рис.1.22

Среда LabView - это интерпретатор, однако существуют и программные средства высокого

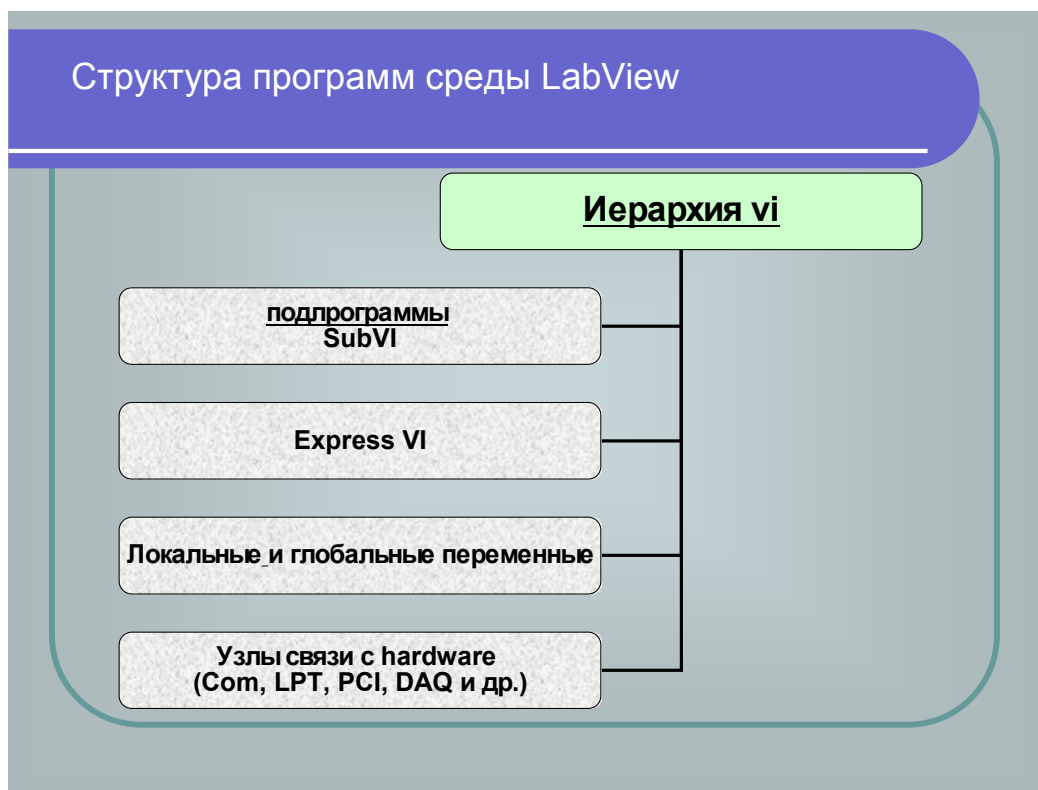


Рис. 1.22

уровня для создания исполняемых модулей, не требующих установки интерпретатора (рис. 1.23).

## National Instruments (NI)

USA, г. Остин, Техас, 3100 сотрудников, основана в 1976 г, в России с 2001 г. Сфера деятельности – аппаратная и программная реализация измерительных и управляющих систем в различных сферах инженерной деятельности – радиотехника, электроника, механика, звук и пр.

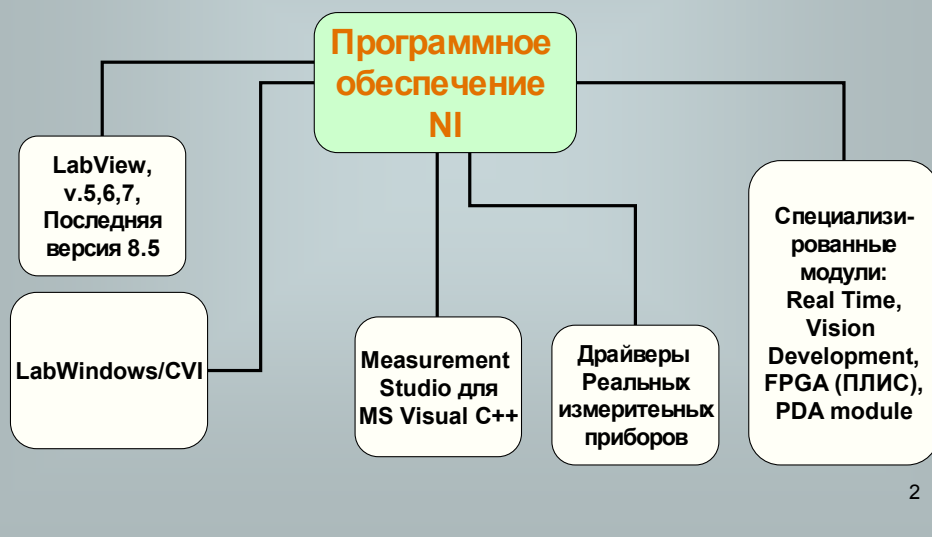


Рис. 1.23

Это прежде всего LabWindows/Cvi – полнофункциональная среда разработки виртуальных приборов на базе языка C. В состав среды входят библиотеки ввода/вывода, анализа и визуализации сигналов, пользовательского интерфейса и др. Среда сочетает интерактивный, простой в использовании подход и гибкостью и мощью программирования компилированного C кода.

Другой подход реализован в пакете Measurement Studio. Это интегрированный набор инструментов и библиотек классов для программной среды Visual Studio компании Микрософт, ориентированный на языки Visual C++, Visual Basic, Visual C#. Measurement Studio содержит набор ActiveX и .Net компонентов, которые интегрируются в среду разработки Visual Studio и используются при создании виртуальных приборов. Они дают возможность конфигурировать встраиваемые платы сбора данных, измерительные приборы

со стандартными интерфейсами GPIB, VXI, PXI, RS232C. Набор элементов управления позволяет строить пользовательский интерфейс виртуального прибора. Мощные механизмы взаимодействия по сети позволяют передавать данные измерения через Интернет. Возможные пути интеграции продуктов среды LabView с другими технологиями программирования и средами представлены на диаграмме рис.1.24



Рис. 1.24

В качестве простого примера реализации виртуального прибора рассмотрим цифровой мультиметр NI 4060, построенный на основе платы, включаемой в системный PCI слот персонального компьютера. Вид передней панели, воспроизводимой на экране монитора, представлен на рис. 1.25.

Он имеет регулируемую разрешающую способность (от 3 1/2 до 5 1/2), следующие режимы

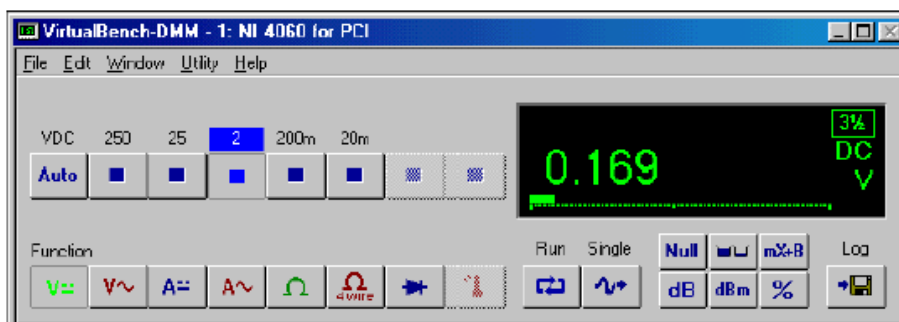


Рис. 1.25

работы: измерение постоянного и переменного напряжения, сопротивления по двух- и четырехпроводной схемам подключения, измерение напряжения отсечки диодов и температуры с помощью внешнего термисторного датчика. Основная погрешность измерения напряжения 0.0032% (постоянный ток) и 0.16% - переменный ток, погрешность изменения сопротивления порядка 0.06%. Установка режима и диапазона измерений осуществляется нажатием “виртуальных” кнопок на панели. Прибор работает в режиме непрерывных и разовых измерений. Предусмотрен также запуск от внешнего источника импульсов. Математическая обработка опытных данных позволяет проводить относительные измерения – в качестве базового используется результат первого измерения после нажатия кнопки относительного режима. При этом индикация может быть в дБ, %, дБмВт. Также предусмотрены вычисления результата в виде линейной функции от опытных данных. Протокол работы прибора может быть сохранен на жестком диске в файле данных. Исследуемые сигналы подключаются к разъемам на плате сзади компьютера с помощью длинных соединительных проводов, что не совсем удобно. Специально для использования с ноутбуками фирмой разработана плата аналогичного назначения NI 4050, имеющая интерфейс PCMCIA и подключаемая в боковой слот компьютера. Отметим, что аналогичны модульный принцип проектирования виртуальных приборов используют и другие фирмы-изготовители измерительной техники. В качестве примера упомянем Agilent VEE (Visual Engineering Environment) – среду программирования измерительных задач путем создания блок-схем. Это позволяет легко создавать, тестировать и обновлять программные продукты инженерам и научным работникам, не имеющим квалификации программиста. Среда VEE поддерживает взаимодействие между модулями по стандартным интерфейсам GPIB, LAN, USB, RS232C, VXI, PXI, а также встраиваемых карт различных производителей. VEE обеспечивает поддержку MATLAB скриптов и блоков обработки сигналов, что позволяет использовать более 1700 функций MATLAB. Более 500 наиболее популярных подпрограмм обработки и вывода сигналов встроено в среду VEE.