

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ПРИБОРОВ

В настоящем сообщении рассматривается классификация интерфейсов, используемых в измерительных системах и приборах, приводятся их основные характеристики.

Ключевые слова: интерфейс, измерительная система, прибор, классификация.

V.T. KONDRATOV, YU.T. KONDRATOV

V.M.Glushkov Institute of cybernetics of National academy of Science of Ukraine

CLASSIFICATION OF INTERFACES OF MEASURING SYSTEMS AND DEVICES

Abstract — In article classification of interfaces of measuring systems and devices from the system positions providing streamlining of our knowledge of variety of types of interfaces and features of their use is presented.

As classification signs the following is chosen: universality or an openness, type of communications, appointment, the physical nature of a signal of communication, type of the organization of communication, a mode of an exchange of the information and interface type, and also used standards.

It is important, that interfaces as software and technical systems, share on opened and closed, and the openness of interfaces can be considered at different levels of hierarchy of program and hardware maintenance.

Degree of an openness of interfaces is estimated on number of the realized signs of an openness.

It is noticed, that for formation of communication channels between measuring systems, devices and the computer or the computerized measuring system wire and wireless communication lines are used.

On the organization of communication interfaces are subdivided on main, radial (a network a star), ring, hierarchical and radial mainline.

Today known two instrumental platform measuring systems and devices: modular platform and the platform of traditional instruments, which are used as interfaces with hardware and software-controlled.

It is established, that in a basis of work of family of interfaces RS, Ethernet and IEEE 802.3 principles of duplex digital communication, programmed control and physical (wire) communication are put.

It is established, that principles of simplex communication, a principle of physical communication, a principle of parallelism and a programmed control principle are put in a basis of work of interface IEEE-1284.

Principles of wire communication, the hot connection, open architecture, asynchronous, isochronism and others are put in a basis of work family of interfaces IEEE 1394.

It is established, that principles of the wire communication, open architecture, parallelism, synchronism and others are put in a basis of work of the interface type of general purpose GPIB. In it all physical and logic parameters will be coordinated among themselves.

It is noted that in the framework of the Universal Serial Bus USB on the principles of wire communication, duplex and synchronicity. The third version differs from the second, not only higher baud rates but also with a larger current strength of 500 mA to 900 mA. This means that from this port can be powered and charge devices that consume more current of 1 A, and the charge will go when the computer is off.

The basic attention is given to workings out to the standards, called to unify and standardize separate functional blocks, modules, remote terminal units, communication tyres etc., used at creation of personal computers, measuring systems and devices.

Standards CAMAC PXI, VXI and LXI are considered.

Keywords: interface, measuring system, device classification.

Введение

В работах [1 – 28] приведены основные понятия и технические характеристики практически используемых типов интерфейсов, описаны преимущества и недостатки интерфейсов разных семейств, история создания и развития, конструктивы, рекомендации по использованию интерфейсов того или иного типа и т.п.

На сегодняшний день известно достаточное количество классификаций интерфейсов, среди которых можно назвать, например, классификации, описанные в работах [1–3]. Каждая классификация построена на некоторой совокупности классификационных признаков. Между собой классификации могут отличаться наличием тех или иных отличительных признаков.

Ниже описывается еще один вариант классификации интерфейсов измерительных систем и приборов, предназначенный преимущественно для метрологов и разработчиков приборов и систем. Кроме классификации приводятся описания и общие сведения об интерфейсах и стандартах.

Объект исследований — процессы ввода-вывода и передачи данных по проводным и беспроводным линиям связи.

Предмет исследований — интерфейсы измерительных систем и приборов, а также принципы, положенные в основу их работы.

Цель работы — ознакомить ученых-метрологов, специалистов, магистров и аспирантов с классификацией интерфейсов измерительных систем и приборов с системных позиций, с их функциональными возможностями и с принципами, положенными в основу работы интерфейсов.

Результаты исследований

Интерфейс — совокупность унифицированных аппаратных, программных, конструктивных средств, необ-

ходимых для реализации алгоритмов взаимодействия различных функциональных блоков измерительных

систем и приборов, а также функциональных блоков, входящих в состав автоматизированных систем управления [3].

В интерфейсе стандартизации подлежат: состав и тип линий связи, электрические и временные параметры сигналов, форматы передаваемой информации, команды и состояния, алгоритмы функционирования, а также конструктивное исполнение соединений.

1. Классификация интерфейсов, применяемых в измерительной технике

Интерфейсы ЭВМ и средств промышленной автоматизации по функциональному назначению подразделяют на локальные, мезонинные, системные, интерфейсы периферийных устройств, приборные интерфейсы и на интерфейсы локальных вычислительных сетей [3].

На рис. 1 приведена классификация интерфейсов измерительных систем (ИС) и приборов. В основу классификации положены следующие классификационные признаки: универсальность или открытость, тип связей, назначение, физическая природа сигнала связи, тип организации связи, режим обмена информацией, тип интерфейса и используемые стандарты.

Интерфейсы, как программно-технические системы, делятся на открытые и закрытые.

Интерфейсы закрытого типа отграничены от обмена энергией и информацией с окружающей средой. Взаимодействие происходит только внутри системы между ее структурными компонентами. Интерфейсы открытого типа функционирует благодаря обмену энергией и информацией с окружающей средой. Достижение абсолютно открытого или закрытого состояния интерфейса невозможно.

Открытость можно рассматривать на разных уровнях иерархии программного и аппаратного обеспечения системы или ее составных частей. Открытыми, например, могут быть [4]:

физические интерфейсы, протоколы обмена, методы контроля ошибок, системы адресации, форматы данных, типы организации сети, интерфейсы между программами, диапазоны изменения аналоговых сигналов;

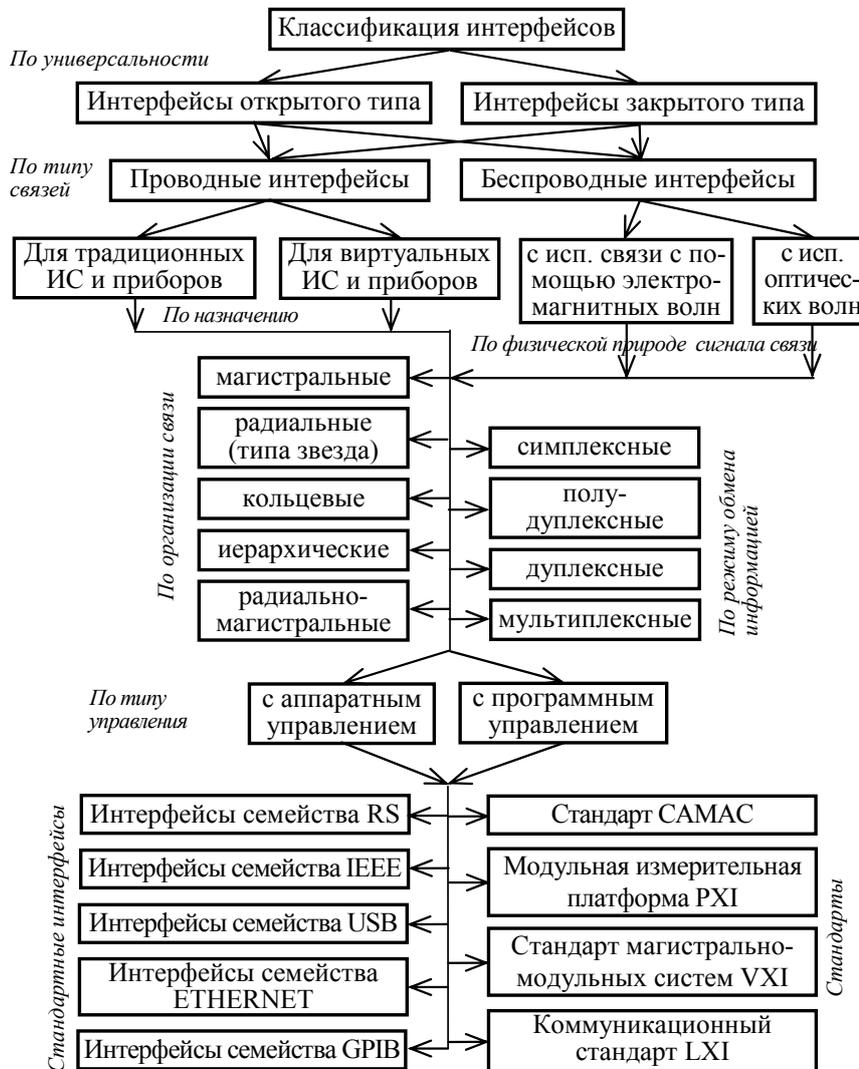


Рис. 1. Классификация интерфейсов

пользовательские интерфейсы, языки программирования контроллеров, управляющие команды модулей ввода-вывода, языки управления базами данных, операционные системы, средства связи аппаратуры с программным обеспечением;

конструкционные элементы (шкафы, стойки, корпуса, разъемы, крепежные элементы);

системы, включающие в себя перечисленные выше элементы.

Необходимыми условиями открытости являются:

модульность;
соответствие стандартам (необязательно официальным, но обязательно общепринятым и легко доступным по цене, компенсирующей только затраты на его разработку, поддержку и распространение);
наличие в свободной продаже аналогичных систем других производителей (подсистем, модулей) по конкурентоспособным ценам.

Степень открытости можно оценить по числу реализованных признаков открытости.

Открытые системы обладают следующими положительными свойствами, благодаря которым системные интеграторы проявляют к ним большой модульность;

платформенная независимость;
взаимозаменяемость с компонентами других производителей;
интероперабельность (возможность совместной работы) с компонентами других производителей;
масштабируемость.

Согласно [4, 5], закрытые системы тоже могут быть модульными, интероперабельными, масштабируемыми. Отличие открытых систем состоит в том, что все перечисленные свойства должны выполняться для компонентов, изготовленных разными производителями и имеющихся в свободной продаже.

Таким образом, общими свойствами открытых систем являются [5]:

расширяемость/масштабируемость — extensibility/scalability,
мобильность (переносимость) — portability,
интероперабельность (способность к взаимодействию с другими системами) — interoperability,
дружественность к пользователю, в т.ч. — легкая управляемость — driveability.

По типу связей интерфейсы делятся на проводные и беспроводные. Используемые линии связи предназначены для образования каналов связи между измерительными системами, приборами и компьютером. Линии связи включают передатчик, приемник сигналов и среду передачи. Такая структура аналогична структуре канала связи. Отличие состоит в том, что в одной линии связи может быть образовано от одного до нескольких тысяч каналов — все зависит от типа передающего и приемного устройств и среды передачи. Множество каналов образуются путем частотного, временного или кодового уплотнения линий связи. С разновидностью и классификацией линий и каналов связи можно ознакомиться по данным работ [6, 7].

На сегодня известны две инструментальные платформы: платформа модульных и платформа традиционных измерительных приборов. В этой связи, по назначению различают интерфейсы для традиционных и виртуальных ИС и приборов.

По физической природе связи можно выделить интерфейсы с электромагнитными и с оптическими видами связей, различающиеся по значениям частот и длин волн.

По организации связи интерфейсы подразделяются на магистральные, радиальные (сеть звезда), кольцевые, иерархические, радиально-магистральные (рис. 1).

По режиму обмена информацией интерфейсы подразделяют на симплексные, полудуплексные, дуплексные, мультиплексные [7]. В интерфейсах с симплексным режимом обмена информацией возможна лишь однонаправленная передача информации от одного абонента к другому. В этом случае буферы приемника и передатчика информации выполняются однонаправленными.

В интерфейсах с полудуплексным режимом обмена в произвольный момент времени может производиться либо только прием, либо только передача данных между двумя абонентами. Буферы приемопередатчика каждого из абонентов связи выполняются двунаправленными. В интерфейсах с дуплексным режимом обмена в любой произвольный момент времени может производиться одновременный прием и передача данных между двумя абонентами.

По типу управления различают интерфейсы с аппаратным и программным управлением. Из существующих типов интерфейсов можно следует упомянуть интерфейсы семейства RS, IEEE, USB, ETHERNET, GPIB, стандарты CAMAC, PXI, VXI и LXI.

Дадим краткую характеристику указанным интерфейсам и стандартам.

2. Интерфейсы и стандарты

Семейство интерфейсов RS

Интерфейс RS-232 — один из наиболее популярных интерфейсов семейства RS, в которое также входят интерфейсы V.35, RS-422, RS-449, RS-530, ANSI/TIA/EIA-232-F-1999, ANSI/TIA/EIA-574-90(R98), ANSI/TIA/EIA-723-98, ANSI/TIA/EIA-404-B-96 и другие [8].

RS-232 — проводной дуплексный интерфейс. Метод передачи данных аналогичен асинхронному последовательному интерфейсу. Передача данных в ту или иную сторону возможна только при условии, что приемник готов принять эти данные. Если установлено, что приемник не готов, то источник данных приостанавливает работу, ждет появления готовности, возобновляет передачу и т. д. Это так называемое аппаратное управление потоком данных (hardware flow control).

Программное управление (software flow control) не предусматривает использования линий RTS и CTS (см. рис. 2). Сигналы с RS-триггеров не передаются на эти линии, как при аппаратном управлении, а обрабатываются внутри устройств DTE и DCE. Для удобства описания метода программного управления используются обозначения символов, принятые в системе кодирования ASCII (сокр. от American standard code for information interchange — американский стандартный код обмена информацией).

RS-232 был введен в 1962 году. Стандарт развивался, и в 1969 г. представлена третья редакция (RS-

232С). Четвёртая редакция появилась в 1987 году (RS-232D, известная также под EIA-232D). RS-232 идентичен стандартам МККТТ (ССИТТ) V.24/V.28, X.20bis/X.21bis и ISO IS2110. Самой последней модификацией является модификация «Е», принятая в июле 1991 года как стандарт EIA/TIA-232E. В нем нет никаких технических изменений, которые могли бы привести к проблемам совместимости с предыдущими вариантами этого стандарта [9].

На рис.2 приведена типовая схема подключения асинхронного интерфейса к компьютеру по данным работы [8]. Близкие по функциональному назначению группы сигналов выделены овалами. Как видно из рис. 2, устройства DTE и DCE различаются направлениями передачи сигналов. Так сигнал TxD передаваемых данных является выходным для устройства DTE и входным для устройства DCE и т.д.

В основу работы семейства интерфейсов RS положены принцип дуплексной цифровой связи, принцип программного управления и принцип физической (проводной) связи.

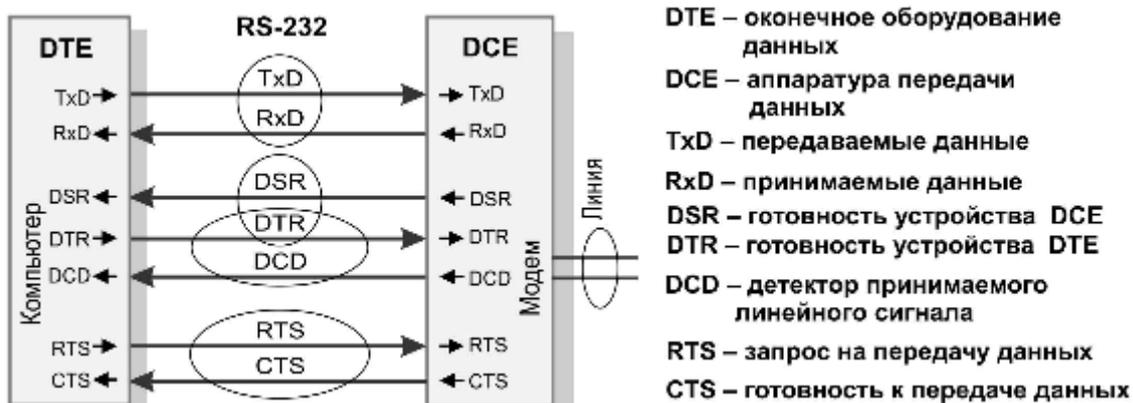


Рис. 2. Каноническая схема подключения асинхронного приборного интерфейса к компьютеру

Принцип дуплексной цифровой связи: большая пропускная способность канала связи может быть достигнута, если передачу сообщений (данных) в обоих направлениях осуществлять по одному каналу связи с временным разделением потоков данных.

Принцип дуплексной аналоговой связи: большая пропускная способность канала аналоговой связи может быть достигнута, если одновременная непрерывная передача сообщений (данных) осуществляется в обоих направлениях по одному каналу связи с нормированной разностью частот приема и передачи.

Принцип асинхронности передачи сообщения (данных): экономный обмен данными может быть достигнут, если их передача осуществляется время от времени и только одной посылкой.

Следуя [10], данный принцип можно сформулировать применительно к выполнению операций:

Принцип асинхронности выполнения операций: экономия затрат на выполнение операций может быть осуществлена только тогда, когда вызывающий код не блокируется на время вычисления, а продолжает работать дальше до завершения операции, после чего осуществляется обратный вызов (колбек) либо иное уведомление известит этот код о том, что результат готов.

Благодаря асинхронному способу обмена информацией стоимость систем для асинхронной связи в десять раз меньше, нежели для синхронной. Недостатком является невысокая скорость передачи данных.

Принцип программного управления — принцип, заключающийся в том, что после сообщения машине адреса первой команды программы и занесения тела этой команды в регистр команд, программа управляет сама собой. Далее никакого внешнего управления не требуется [11]. Этот принцип выполняется как на уровне команд, так и на уровне микрокоманд.

Принцип физической связи — прием и/или передача сообщений (данных) осуществляется только посредством физически выделенной линии — проводной или оптоволоконной.

Особенности аппаратного и программного управления потоками данных в интерфейсах семейства RS подробно описаны в работах [3, 8, 11].

Семейство интерфейсов IEEE и Ethernet

Ethernet и IEEE 802.3 являются различными стандартами, но, поскольку они очень похожи друг на друга, то используются как взаимозаменяемые. Другими словами, Ethernet и IEEE 802.3 созданы по сходным технологиям. Разные модификации стандартного интерфейса IEEE 802.3 предусматривают использование толстого и тонкого коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 50 Ом, неэкранированной витой пары, или 75-омного коаксиального кабеля.

Если для IEEE 802.3 существует несколько различных стандартов физического уровня, то для Ethernet имеется только один. Каждый из стандартов протокола физического уровня IEEE 802.3 имеет свое наименование, определяющее его важнейшие характеристики (см. [12 – 15]).

В стандарте первых версий (Ethernet v1.0 и Ethernet v2.0) указано, что в качестве передающей среды используется коаксиальный кабель. В дальнейшем появилась возможность использовать витую пару и оптический кабель. Преимущества использования витой пары по сравнению с коаксиальным кабелем следующие [12, 15 – 17]: возможность работы в дуплексном режиме; низкая стоимость кабеля «витой пары»;

более высокая надёжность сетей при неисправности в кабеле (соединение точка-точка);
минимально допустимый радиус изгиба меньше, чем у коаксиального кабеля;
большая помехоустойчивость из-за использования дифференциального сигнала;
возможность питания по кабелю маломощных узлов, например IP-телефонов (стандарт Power over Ethernet (POE));

гальваническая развязка трансформаторного типа.

К семейству интерфейсов Ethernet с соответствующими стандартами связи относятся также:

Fast Ethernet — общее название для набора стандартов передачи данных в компьютерных сетях по технологии Ethernet со скоростью до 100 Мбит/с в отличие от исходных 10 Мбит/с;

Gigabit Ethernet (GbE) — термин, описывающий набор технологий для передачи пакетов Ethernet со скоростью 1 Гбит/с. Он определен в документе IEEE 802.3-2005;

10 Gigabit Ethernet или 10GbE являлся относительно новым и самым быстрым из существующих стандартов Ethernet. Он представляет версию Ethernet с номинальной скоростью передачи данных 10 Гбит/с. Стандарт для оптоволоконного специфицирован в IEEE 802.3-2005, а для витой пары в IEEE 802.3an-2006;

40-гигабитный Ethernet (или 40GbE) и 100-гигабитный Ethernet (или 100GbE) — стандарты Ethernet, разработанные группой IEEE P802.3ba Ethernet Task Force в период с 2007 по 2011 год.

Эти стандарты являются следующим этапом развития группы стандартов Ethernet, имевших до 2010 года наибольшую скорость в 10 Гбит/с. В новых стандартах обеспечивается скорость передачи данных в 40 и 100 Гбит/с.

В основу работы семейства интерфейсов Ethernet и IEEE 802.3 также положены принцип физической связи, принцип дуплексной связи, принцип программного управления и др. Технические характеристики указанных интерфейсов приведены в работах [12 – 15].

Семейство интерфейсов IEEE 1284

IEEE 1284, LPT (Line Print Terminal; параллельный порт, порт принтера) — международный стандарт параллельного интерфейса для подключения периферийных устройств персонального компьютера, а именно: принтера, сканера, внешних устройств хранения данных и т.п.

В основе данного стандарта лежит интерфейс Centronics и его расширенные версии (ECP, EPP). Название LPT образовано от наименования стандартного устройства принтера LPT1 (*Line Printer Terminal* или *Line PrinTer*) в операционных системах семейства MS-DOS [18].

Базовый интерфейс Centronics является однонаправленным параллельным интерфейсом. Он содержит характерные для такого интерфейса сигнальные линии: восемь линий для передачи данных, линию «строб», линии состояния устройства и пять обратных линий.

Данные передаются в одну сторону, — от компьютера к внешнему устройству. Но полностью однонаправленным интерфейс IEEE 1284 назвать нельзя. Так, пять обратных линий используются для контроля за состоянием устройства. Centronics позволяет подключать одно устройство, поэтому для совместного очередного использования нескольких устройств требуется дополнительно применять селектор. Скорость передачи данных может варьироваться и достигать 1,2 Мбит/с.

В настоящее время стандарт IEEE-1284 не развивается. Окончательная стандартизация параллельного порта совпала с началом внедрения интерфейса USB, который позволяет подключать также МФУ и обеспечивает более высокую скорость печати и надёжную работу принтера. Альтернативой параллельному интерфейсу является также сетевой интерфейс Ethernet.

В основу работы интерфейса IEEE-1284 положены принципы симплексной связи, принцип физической связи, принцип параллельности и принцип программного управления.

Принцип симплексной связи: односторонняя связь между передающей и приемной сторонами возможна в том и только в том случае, если передача сообщений (данных) осуществляется в одном направлении и через один и тот же интерфейс (или по одному и тому же каналу связи).

При симплексной связи принимающая сторона не может ни ответить, ни подтвердить получение сообщения (данных).

Принцип параллельности передачи данных: высокоскоростная проводная передача данных для хранения, преобразования, обработки, печати и визуализации возможна только при представлении и однонаправленной передаче этих данных в параллельном коде.

Семейство интерфейсов IEEE 1394

IEEE 1394 (FireWire, i-Link) — последовательная высокоскоростная шина, предназначенная для обмена цифровой информацией между компьютером и другими электронными устройствами. Основными преимуществами шины IEEE 1394 являются [19, 20]:

горячее подключение — возможность переконфигурировать шину без выключения компьютера;

различная скорость передачи данных — 100, 200 и 400 Мбит/с в стандарте IEEE 1394/1394a, дополнительно 800 и 1600 Мбит/с в стандарте IEEE 1394b и 3200 Мбит/с в спецификации S3200;

гибкая топология — равноправие устройств, допускающая различные конфигурации (возможность «общения» устройств без компьютера);

высокая скорость — возможность обработки мультимедиа-сигнала в реальном времени;

поддержка изохронного трафика, т.е. передачи потока данных с постоянной скоростью и с взаимной синхронизацией передаваемых блоков данных с большой точностью;

поддержка атомарных операций — сравнение/обмен, атомарное увеличение (операции семейства LOCK — compare/swap, fetch/add и т. д.);

открытая архитектура — отсутствие необходимости использования специального программного обеспечения;

наличие питания прямо на шине, — ток до полутора ампер, а напряжение от 8 до 40 вольт. В этом случае маломощные устройства могут обходиться без собственных блоков питания;

подключение до 63 устройств.

Шина IEEE 1394 используется для: создания компьютерной сети; подключения аудио и видео мультимедийных устройств; подключения принтеров и сканеров; подключения жестких дисков и массивов из нескольких дисков, т.е. запоминающих устройств, управляемых контроллером, связанных между собой скоростными каналами передачи данных и воспринимаемых внешней системой как единое целое.

Согласно [19], кабель представляет собой две витые пары — А и В, распаянные как А к В, а на другой стороне кабеля как В к А. Также возможен необязательный проводник питания. Устройство может иметь до четырех портов (разъемов). В одной топологии может быть до 64 устройств. Максимальная длина пути в топологии — 16. Топология древовидная, замкнутые петли не допускаются.

Операции шины делятся на асинхронные и изохронные. Асинхронные операции — это запись/чтение 32-битного слова, блока слов, а также атомарные операции. Асинхронные операции используют 24-битные адреса в пределах каждого устройства и 16-битные номера устройств (поддержка межшинных мостов). Некоторые адреса зарезервированы под главнейшие управляющие регистры устройств. Асинхронные операции поддерживают двухфазное исполнение — запрос, промежуточный ответ, потом позже окончательный ответ.

Изохронные операции — это передача пакетов данных в ритме, строго приуроченном к ритму 8 КГц, задаваемому ведущим устройством шины путем инициации транзакций «запись в регистр текущего времени». Вместо адресов в изохронном трафике используются номера каналов от 0 до 31. Подтверждений не предусмотрено, изохронные операции есть одностороннее вещание.

Изохронные операции требуют выделения изохронных ресурсов — номера канала и полосы пропускания. Это делается атомарной асинхронной транзакцией на некие стандартные адреса одного из устройств шины, избранного как «менеджер изохронных ресурсов».

Помимо кабельной реализации шины, в стандарте описана и наплатная.

В 1995 году была опубликована первая версия стандарта IEEE Std 1394 — 1995. В новом столетии появились расширения IEEE-1394a и IEEE-1394b, которые предназначены для работы при скорости 400 Мбит/с и 800 Мбит/с на полностью дуплексной основе. 1394b имеет обратную совместимость с 1394a [20].

Таим образом, в основу работы рассмотренного семейства интерфейсов положены принцип проводной связи, принцип горячего подключения, принцип открытой архитектуры, принцип асинхронности, принцип изохронности и др.

Принцип горячего подключения (замены): замена периферийного или иного оборудования, а также программного обеспечения измерительной системы или прибора при включенном питании возможны в том и только в том случае, если они обладают запасом избыточности или способны определять и запоминать внезапное изменение состояния функциональных блоков системы или прибора, запоминать и восстанавливать полученные данные, а также быть нечувствительными к скачкам напряжения питания.

Для интерфейсов горячее подключение означает возможность переконфигурирования шины без выключения компьютера.

Принцип открытой архитектуры — архитектура измерительной системы или прибора является открытой в том и только в том случае, если методы подключения (замены) модулей функциональных блоков и/или периферийных устройств стандартизированы и не зависят от фирм-изготовителей.

В компьютеризированных измерительных системах и приборах отсутствует необходимость в использовании специального программного обеспечения.

Принцип изохронности: передача пакетов данных по установленным каналам связи осуществляется с заданной частотой следования и строго в определенные моменты времени.

Семейство интерфейсов GPIB

Стандарт и интерфейсная шина общего назначения GPIB в общих чертах были созданы в середине 60-х годов [21]. Бурное развитие измерительных приборов и устройств практически сразу поставили вопрос о взаимодействии между контрольно-управляющей и измерительной аппаратурой и компьютерной техникой, о возможности комбинирования компьютера и конечного измерительного прибора. В эти годы компания Hewlett-Packard разработала и представила интерфейс Hewlett-Packard Interface Bus (HP-IB) как многоцелевой контроллер. В 1970-х стандарт HP-IB был преобразован в более общий GPIB, а также был принят как стандарт IEEE-488.

Распространенность стандарта и его востребованность стали основой для принятия стандарта IEEE-488 как одного из основных. В начале 1990-х годов были выпущены новые спецификации стандарта, а также выпущена спецификация языка программирования SCPI, позволяющего сравнительно удобно создавать программное обеспечение для измерительных систем и приборов.

Основные достоинства GPIB [21]: относительно высокая скорость передачи, достаточное число приборов на шине, гибкость топологии системы, возможность значительных расстояний между приборами.

Дополнительным фактором, определившим популярность интерфейса GPIB стала его открытость и документированность, причем весьма подробная.

Компании-лидеры по производству измерительной техники по-прежнему расширяют номенклатуру стандартов и интерфейсной шины общего назначения GPIB, а также разрабатывают средств сопряжения GPIB с более новыми интерфейсами. Это объясняется тем, что всегда будут нужны системы на один-два прибора.

Как отмечается в [21], основные причины успеха GPIB — техническая состоятельность и рыночная привлекательность. Успех GPIB — это успех гармонично сбалансированной платформы.

В основу работы интерфейсной шины общего назначения GPIB положены принципы проводной связи, открытой архитектуры, параллельности, синхронности и др. В ней все физические и логические параметры согласуются между собой.

Семейство интерфейсов USB

USB (Universal Serial Bus) — «универсальная последовательная шина» — последовательный интерфейс передачи данных для среднескоростных и низкоскоростных периферийных устройств в измерительной и вычислительной технике [22].

Согласно [22], для подключения периферийных устройств к шине USB используется четырёхпроводной кабель. При этом два провода (витая пара) в дифференциальном включении используются для приёма и передачи данных, а два провода — для питания периферийного устройства. Благодаря встроенным линиям питания USB позволяет подключать периферийные устройства без собственного источника питания (максимальная сила тока, потребляемого устройством по линиям питания шины USB, не должна превышать 500 мА, у USB 3.0 — 900 мА).

В 2008 году появилась версия USB 3.0 обновленного стандарта. В спецификации USB 3.0 разъёмы и кабели обновленного стандарта физически и функционально совместимы с USB 2.0. Если кабель USB 2.0 содержит в себе четыре линии — пару для приёма/передачи данных, плюс и ноль питания и обеспечивает максимальную скорость передачи информации 480 Мбит/с, то в кабель USB 3.0 добавлено ещё четыре линии связи (две витые пары). Максимальная скорость передачи информации увеличена до 5 Гбит/с. Третья версия отличается от второй не только более высокой скоростью передачи информации, но и увеличенной силой тока с 500 мА до 900 мА. Это значит, что от данного порта можно запитывать и заряжать устройства, потребляющие ток более 1 А, причем зарядка будет идти при выключенном компьютере. На некоторых материнских платах и ноутбуках одно или несколько гнезд USB 3.0 могут быть помечены значком молнии. USB 3.0 совместимо со старыми стандартами.

В основу работы универсальной последовательной шины USB положены принципы проводной связи, дуплексности, синхронности и др.

Стандарт САМАС (КАМАК) — стандарт, определяющий организацию магистрально-модульной шины, предназначенной для связи измерительных устройств с аппаратурой обработки данных в системах сбора данных [23].

В середине шестидесятых годов прошлого столетия стоимость вычислительных машин стала достаточно низкой, и возникла необходимость в серийном выпуске измерительных устройств, способных работать с системами сбора информации. С экономической точки зрения эти устройства должны отвечать требованиям модульности и унифицированности способа подключения. Модульность — это способность аппаратного или программного обеспечения к модификации путем добавления, удаления или замены отдельных модулей (компонентов системы) без воздействия на оставшуюся ее часть [24].

Для решения этих проблем Европейским комитетом по исследованию в области электронной техники (ESONE) в 1972 году был предложен стандарт EUR 4100, часто называемый так же САМАС-1 (или просто САМАС).

В основу стандарта КАМАК положен магистрально-модульный принцип создания ПК.

Магистрально-модульный принцип может быть сформулирован следующим образом: «Получение заданной конфигурации и модернизация измерительных систем и персональных компьютеров возможны в том и только в том случае, если используется шинный принцип обмена информацией между модулями и принцип физического разделение шин данных, адреса и управления».

Модульная измерительная платформа PXI

PXI — это модульная измерительная платформа, предназначенная для создания многофункциональных и высокопроизводительных автоматизированных измерительных систем. В основе PXI-платформы лежат стандартные компьютерные технологии: шина PCI/PCI Express, процессор и периферийные устройства. Архитектурно PXI состоит из шасси, в которое устанавливаются модульные приборы, контроллеры или интерфейсы для удаленного управления платформой [24 – 26].

Образное представление PXI модульной измерительной платформы и структуры PXI приведено на рис. 3. Платформа PXI основана на широко распространенном стандарте CompactPCI и обеспечивает эффективное взаимодействие с тысячами модулей CompactPCI. Ее особенностью является надежная платформа с фронтальной загрузкой модулей, встроенные возможности по синхронизации и тактирования отдельных устройств, специально разработанных для решения задач тестирования и измерений.

PXI является международным стандартом, введенным в 1997 году как открытый промышленный стандарт альянсом PXISA (PXI Systems Alliance), поддерживаемым более, чем 65 производителями оборудования. В рамках этого стандарта разработано свыше 1150 различных продуктов. Высокая производительность, малый размер и низкая цена основанных на технологии PXI систем сделали PXI одной из наиболее быстро развивающихся платформ в технологии тестирования и измерений.

Модульные измерительные системы, базирующиеся на открытом промышленном стандарте PXI обеспечивают высокую производительность и обладают невысокой ценой. Использование шины PCI обеспечивает большую производительность по сравнению с другими архитектурами. Кроме того, PXI имеет дополнительные линии тактирования и синхронизации, что обеспечивает высокий уровень интеграции отдельных модулей, необходимый при создании измерительных и управляющих систем.

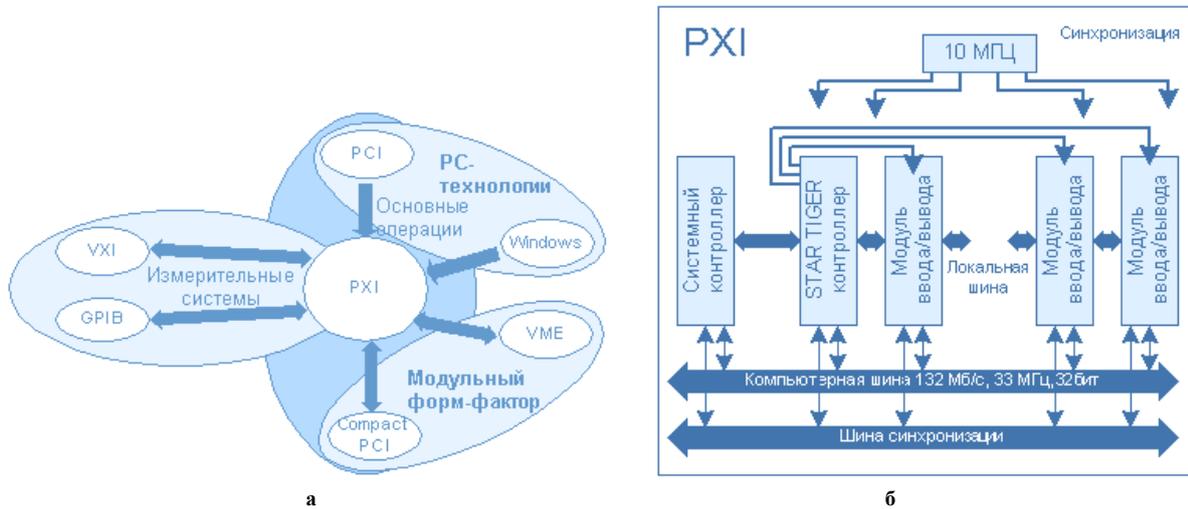


Рис. 3. Образное представление PXI модульной измерительной платформы (а) и структуры PXI (б) [26]

Преимущества платформы PXI [24, 26]:

- архитектура ПК позволяет использовать высокопроизводительные процессоры в приложениях, требующих сложного анализа и математической обработки данных;
- пропускная способность шины PCI составляет 132 МБ/с. Расширенные возможности синхронизации обеспечивают тесную интеграцию PXI модулей, что позволяет повысить точность измерений и создавать системы с большим количеством каналов;
- одно PXI шасси может содержать до 17 измерительных модулей;
- используемое программное обеспечение аналогично ПО для стандартных ПК, и поэтому не требует дополнительного времени на изучение, что упрощает процесс интеграции систем;
- открытая модульная архитектура;
- возможность синхронизации как модулей так и отдельных шасси;
- надежный форм-фактор;
- более 1500 измерительных модулей (от постоянного тока до 26.5 ГГц);
- стандартные компьютерные технологии и интерфейсы ввода/вывод;
- полная совместимость платформ PXI/PXI Express и CompactPCI;
- пропускная способность до 1 ГБ/с на каждый слот, а для слота системного контроллера — до 4 ГБ/с;
- программирование с помощью NI LabVIEW, NI LabWindows/CVI, Measurement Studio, .NET, Visual Basic, C/C++.

Для наглядности устройство конструктива PXI-платформы (а) и модуля ввода-вывода (б) приведены на рис. 4.

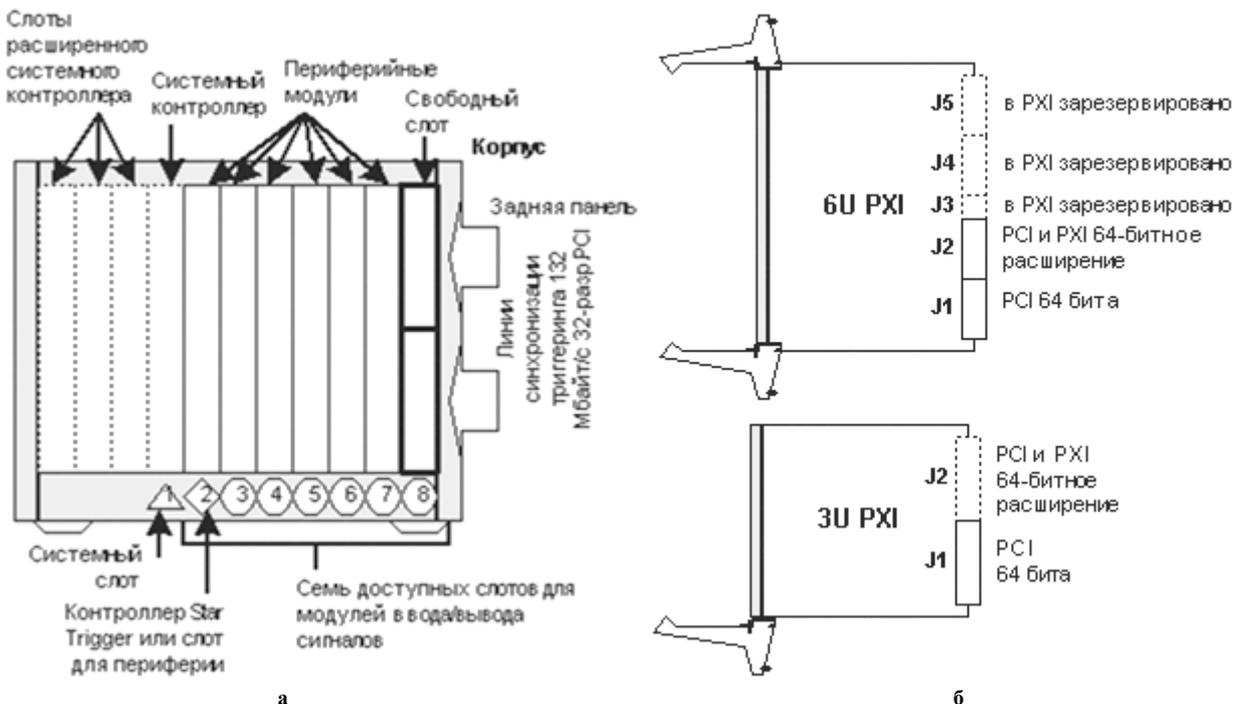


Рис. 4. Конструктив PXI-платформы (а) и модуля ввода-вывода (б) [26]

Надежность системы на базе PXI обуславливается следующими факторами: применение модульной архитектуры Eurocard (подтверждено годами успешного использования в промышленной среде);

механические компоненты и габаритные размеры, стандартизованные IEEE;

механически взаимозаменяемые модули;

спецификация PXI, расширяющая возможности платформы CompactPCI для использования в условиях, требующих повышенной надежности, производительности и документации;

большое время наработки на отказ.

Шасси NI PXIe-1062Q предназначено для удовлетворения потребностей по высокой пропускной способности и обеспечивает гибкость для размещения модулей и PXI и PXI Express. Типовой 8-слот PXI шасси высотой 4U при половинной ширине стойки, полная ширина шасси содержит до 18 слотов PXI. Соединительная плата на 8 PCI-модулей обеспечивает коммуникационную способность до 132 Мбайт/с для 32-разрядной 33 МГц PCI-шины.

Преимуществом CompactPCI является фронтальная установка и замена модулей, надежные разъемы и технология Plug&Play. Спецификация PXI, помимо всего, определяет заимствованные из спецификации VXI и RTSI дополнительные линии триггеринга (triggering) и наносекундной синхронизации модулей ввода/вывода сигналов, а также локальную шину для обмена информацией между соседними модулями. Для PXI также заданы жесткие требования по электромагнитной совместимости, питанию и вентиляции модулей. Левый PCI-слот в корзине PXI предназначен 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 планируется увеличить до 13 с помощью моста PCI-PCI). В следующий за системным слот помимо обычного модуля может также устанавливаться так называемый старт-триггер (starttrigger), — специальный модуль для реализации сложных схем синхронизации функционирования нескольких модулей ввода/вывода. Каждый из них имеет свою собственную линию управления.

Следовательно, в основу измерительной платформы PXI положены стандартные компьютерные технологии, магистрально-модульный принцип создания высокопроизводительных автоматизированных измерительных систем, а также принципы открытости и совместимости.

Дадим определение *принципу совместимости*: «функциональные блоки (модули) и элементы измерительной системы или прибора являются совместимыми (и взаимозаменяемыми) в том и только в том случае, если они обладают свойством функциональности и являются составной частью системы или прибора с определенным образом организованными (стандартизированными) иерархическими и функциональными связями между блоками (модулями) и их элементами-носителями свойств функциональности».

Стандарт магистрально-модульных систем VXI

Стандарт VXI (VMEbus eXtention for Instrumentation — VXI) создан в середине 80-х годов XX века в связи с развитием технологии стандартизированного оборудования и программного обеспечения, подчиняющихся принципам магистрально-модульных систем и стандарту «Plug and Play» для решения задач создания высокоточного контрольного и диагностического оборудования. Термин Plug&Play дословно означает «включай и играй (работай)», а в прикладном смысле — ничего не нужно настраивать, достаточно *подключить* устройство к компьютеру. Стандарт (технология) Plug and Play («Включил-и-Работай») устанавливает требования по автоматическому распознаванию нового устройства или добавленной платы в компьютер, их автоматическому конфигурированию и настройке для работы в данной системе.

Стандарт Plug and Play разработала и внедрила в конструкцию шины PCI корпорация Intel. Введение системы Plug and Play привело к увеличению спроса на компьютеры с PCI и вытеснило шину ISA с лидирующих позиций.

Технологии и стандарт VXI обеспечивают комплексный подход к созданию информационных, измерительных, диагностических и контрольных системы любого уровня сложности на основе единых принципов. Существующие системы легко расширяются. Несколько систем могут быть объединены в одну. Архитектура систем легко перестраивается и изменяется. Обмен данными между модулями происходит быстро и максимально эффективно. Системы обладают отличными показателями качество/цена при высокой точности измерений и высокой помехозащищенности, функциональной законченности приборов [27].

Стандарт VXI удовлетворяет требованиям военно-промышленных стандартов, требованиям ряда промышленных стандартов (ISO 9000) и стандартам различной помехо-, магнито- и электрозащищенности. Все эти требования учитываются на стадии проектирования измерительных и диагностических магистрально-модульных систем и не требуют дополнительных затрат при сборке и эксплуатации аппаратуры.

История создания стандарта VXI такова. В 1987 году ряд крупнейших производителей контрольно-измерительного оборудования объединились VXI-консорциум, который поставил своей целью координацию всех производителей и развитие стандарта. Сейчас в консорциуме состоит около 200 компаний, не только производителей (основные — National Instruments, Agilent Technologies, Racal, Tektronix), но и системных интеграторов, проектировщиков систем.

В 2004 году консорциумом была подготовлена и опубликована спецификация стандарта VXI третьей версии, зафиксировавшая увеличение скорости передачи данных и адресного пространства.

Согласно [27], VXI-система состоит из крейта, набора измерительных модулей, компьютера и программного обеспечения. Крейт представляет собой «ящик», в который монтируются различные модули системы. Измерительные и вспомогательные модули устанавливаются в крейт без какого-либо дополнительного монтажа. Номенклатура модулей постоянно расширяется. Технические характеристики оборудования совершенствуются. Спецификация стандарта обновляется и модернизируется. Компьютеры в VXI-системах могут использоваться

как внешние, так и встроенные непосредственно в кейт. Программное обеспечение VXI-систем может быть создано с помощью программных комплексов LabVIEW и LabWindows, которые представляют собой современные графические программные оболочки, работающие в различных операционных системах.

Системы на базе технологий VXI отличаются высоким интеллектом, дружелюбностью к пользователю, совместимостью с различными другими системами оборудования. Оптимальным является использование систем VXI при проведении научных испытаний и исследований, контроле и диагностике сложных технических объектов, мониторинге работы промышленных и энергетических объектов.

Коммуникационный стандарт LXI

LXI (LAN eXtensions for Instrumentation) — коммуникационный стандарт для сетей и систем передачи данных, связывающих различные датчики, исполнительные механизмы, промышленные контроллеры и т.д. Стандарт используется в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП) и предполагает использование стандартных сетей Ethernet. Стандарт разработан и поддерживается некоммерческой организацией LXI Consortium. Он призван заменить интерфейс GPIB и такие стандарты доступа к измерительным приборам, как VXI и PXI.

Согласно [28], стандарт предусматривает подключение к беспроводным, кабельным или оптическим сетям Ethernet с использованием стандартных Ethernet разъемов RJ45 на 8 контактов или M12 на 4 или 8 контактов. Для кабельных сетей требуется поддержка Gigabit Ethernet 1000BASE-T. В качестве транспорта стандарт использует стек протоколов TCP/IP с обязательным IPv4 и опциональным IPv6. Стандартом предусмотрено три обязательных метода установки IP параметров: DHCP, Auto IP и вручную. Параметры сети по умолчанию устанавливаются кнопкой. Управление устройством осуществляется через WEB интерфейс.

Устройство поддерживает протоколы Multicast DNS и DNS Service Discovery. При работе устройств в системах управления реального времени предусмотрены следующие механизмы [28]:

синхронизация устройств через Ethernet на базе стандарта IEEE 1588 – 2008 либо синхронизация прямым кабельным соединением с физическим уровнем LVDS (LXI Device Wired Trigger Bus). Для IEEE 1588 допускается как аппаратная, так и программная реализации;

для передачи данных о событиях предусмотрены специальные сообщения в сети (LXI Event Messages) поверх протоколов UDP (широковещательные) или TCP (адресные). Для них зарезервированы IP адрес 224.0.23.159 и порт сервера 5044. Подробно рассматриваются вопросы временных задержек.

Существуют три класса устройств LXI (рис. 5, а). *Класс С* – основной класс LXI. Устройства класса С должны соответствовать физическим требованиям, поддерживать протоколы Ethernet и стандарты интерфейса LXI. Класс С реализует следующие основные особенности: LAN интерфейс, LAN протоколы, обследование LAN, интерфейс IVI, "домашнюю страницу" устройства, индикаторы/кнопки (Повторный запуск (Reset), Питание и др.). *Класс В* соответствует всем требованиям класса С, но добавляет запуск приборов по LAN и поддержку протокола синхронизации IEEE 1588. *Класс А* удовлетворяет всем требованиям классов С и В и добавляет шину аппаратного запуска приборов.

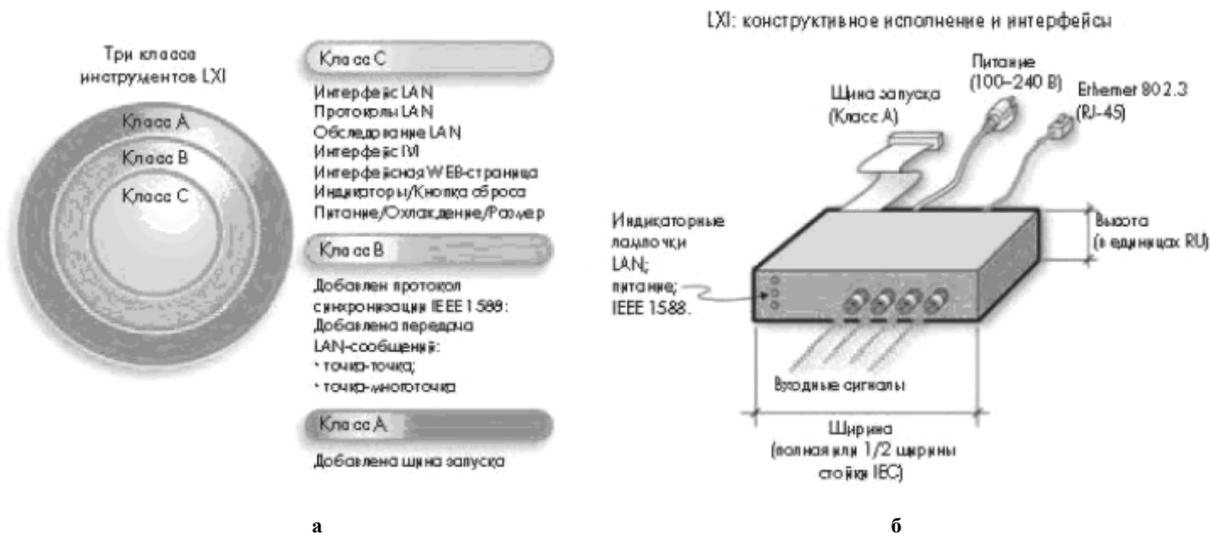


Рис. 5. Три класса инструментов LXI (а); конструктивное исполнение и интерфейсы (б) [27]

В настоящее время подавляющее большинство LXI устройств относится к классу С. Эти классы не означают какого-либо конкретного физического размера LXI устройства.

Интерфейс LXI позволяет соединять как настольные устройства, имеющие переднюю панель, так и модули без панели, используемые в стойках (см. рис. 6). Могут быть включены и небольшие устройства (например, вебкамера), которые можно вешать на стену или встраивать в другие устройства.

В отличие от устройств PXI и VXI, которые ограничены заданными размерами модулей, устройства LXI могут иметь произвольный вид. Для тех устройств, которые встраиваются в стойки, рекомендуется придерживаться спецификации IEC. Согласно ей, ширина модуля должна соответствовать стандартному размеру стойки 19 дюймов или ее половине.

Высота модуля 1, 2 и более RU (Rack Units – нормированные единицы размеров для стоек, равные 1U=1,75 дюйма (44 мм)). В LXI широко используют размеры устройств с высотой 1 RU и половинной шириной, которые удобны для разработчиков измерительных систем. Эти модули удобно размещаются в стандартной стойке, исключая необходимость использования крейтов.

На рис. 5,6 показаны конструктивные размеры и физические интерфейсные разъемы типового модуля LXI. Он включает разъем питания (100–240 В), шина запуска событий (для класса А), интерфейс Ethernet 802.3 (RJ-45), входы для измерительных сигналов, набор индикаторов: состояние LAN, состояние питания, состояние IEEE 1588.

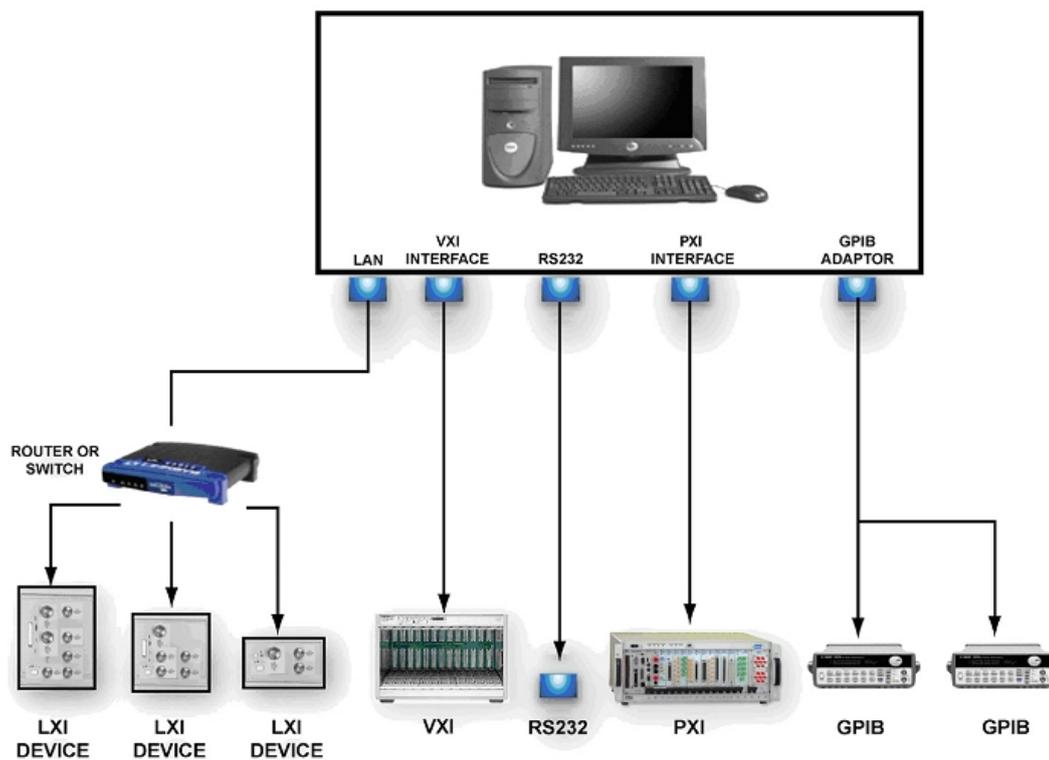


Рис. 6. LXI-система на базе коммуникационного стандарта LXI

Высота модуля выражается в единицах RU (IEC), ширина — полная или половина ширины стойки IEC. Стандарт рекомендует определенное положение кабеля питания (на задней панели справа), выключателя питания (на задней панели снизу справа), соединительного разъема Ethernet (на задней панели), разъемов для подключения сигналов (на передней панели) и индикаторов LAN/питание/IEEE 1588 (слева на передней панели). По данным работы [28], на рис. 6 приведен пример системы LXI, где показаны все возможные типы устройств, которые могут быть в ней использованы. Это традиционные измерительные настольные приборы, специализированные измерительные модули с интерфейсами LXI, подключенные по LAN к выходным портам коммутатора/маршрутизатора Ethernet, и устройства с интерфейсами VXI, PXI и RS232, подключенные напрямую к выходным интерфейсам.

Программные пакеты, которые LXI-компании одобрили для разработки измерительных систем следующие (в алфавитном порядке): LabView и LabWindows / CVI от National Instruments; MATLAB из MathWorks; Measure Foundry от Data Translation; VEE from Agilent VEE от Agilent.

Таким образом, на сегодня существует достаточное количество интерфейсов и стандартов, обеспечивающих создание измерительных систем и приборов, отвечающих современным требованиям.

Выводы

Представлена классификация интерфейсов измерительных систем и приборов с системных позиций, обеспечивающая упорядочение наших знаний о многообразии типов интерфейсов и особенностях их использования.

В качестве классификационных признаков выбраны следующие: универсальность или открытость, тип связей, назначение, физическая природа сигнала связи, тип организации связи, режим обмена информацией и тип интерфейса, а также используемые стандарты.

Важно, что интерфейсы, как программно-технические системы, делятся на открытые и закрытые, причем открытость интерфейсов можно рассматривать на разных уровнях иерархии программного и аппаратного обеспечения,

Степень открытости интерфейсов оценивается по числу реализованных признаков открытости.

Отмечается, что для образования каналов связи между измерительными системами, приборами и компьютером или компьютеризированной измерительной системой используются проводные и беспроводные линии связи.

По организации связи интерфейсы подразделяются на магистральные, радиальные (сеть звезда),

кольцевые, иерархические, радиально-магистральные

На сегодня известны две инструментальные платформы измерительных систем и приборов: платформа модульных и платформа традиционных измерительных приборов, в которых используются интерфейсы как с аппаратным, так и с программным управлением.

Установлено, что в основу работы семейства интерфейсов RS, Ethernet и IEEE 802.3 положены принципы дуплексной цифровой связи, программного управления и физической (проводной) связи.

Установлено, что в основу работы интерфейса IEEE-1284 положены принципы симплексной связи, принцип физической связи, принцип параллельности и принцип программного управления.

В основу работы семейства интерфейсов IEEE 1394 положены принципы проводной связи, горячего подключения, открытой архитектуры, асинхронности, изохронности и другие.

Установлено, что в основу работы интерфейсной шины общего назначения GPIB положены принципы проводной связи, открытой архитектуры, параллельности, синхронности и др. В ней все физические и логические параметры согласуются между собой.

Отмечается, что в основу работы универсальной последовательной шины USB положены принципы проводной связи, дуплексности и синхронности. Третья версия отличается от второй не только более высокой скоростью передачи информации, но и увеличенной силой тока с 500 мА до 900 мА. Это значит, что от данного порта можно запитывать и заряжать устройства, потребляющие ток более 1 А, причем зарядка будет идти при выключенном компьютере.

Основное внимание уделяется разработкам стандартам, призванным унифицировать и стандартизировать отдельные функциональные блоки, модули, периферийные устройства, шины связи и т.д., используемые при создании персональных компьютеров, измерительных систем и приборов.

Впервые в основу стандарта КАМАК был положен магистрально-модульный принцип создания измерительных систем и компьютеров. Дано следующее определение данному принципу: «Получение заданной конфигурации и модернизация измерительных систем и персональных компьютеров возможны в том и только в том случае, если используется шинный принцип обмена информацией между модулями и принцип физического разделения шин данных, адреса и управления».

Практический интерес вызывает международный промышленный стандарт, введенный в 1997 году альянсом PXISA (PXI Systems Alliance). PXI — это открытая модульная измерительная платформа, предназначенная для создания многофункциональных и высокопроизводительных автоматизированных измерительных систем на базе стандартных компьютерных технологий: шины PCI/PCI Express, процессора и периферийных устройств. Архитектурно PXI состоит из шасси, в которое устанавливаются модульные приборы, контроллеры или интерфейсы для удаленного управления платформой.

Практический интерес представляет и стандарт VXI (VMEbus eXtention for Instrumentation), созданный в середине 80-х годов XX века в связи с развитием технологии стандартизированного оборудования и программного обеспечения. Этот стандарт подчиняется принципам магистрально-модульных систем и стандарту «Plug and Play» для решения задач создания высокоточного контрольного и диагностического оборудования. Системы на базе технологий VXI отличаются высоким интеллектом, дружелюбностью к пользователю, совместимостью с различными другими системами оборудования.

Практический интерес вызывает также разработанный и поддерживаемый некоммерческой организацией LXI Consortium коммуникационный стандарт LXI (LAN eXtensions for Instrumentation). Последний предназначен для сетей и систем передачи данных, связывающих различные датчики, исполнительные механизмы, промышленные контроллеры и т.д., а также для использования в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУТП). Коммуникационный стандарт LXI предполагает использование стандартных сетей Ethernet и призван заменить интерфейс GPIB и такие стандарты доступа к измерительным приборам, как VXI и PXI. Интерфейс LXI позволяет соединять как настольные устройства, имеющие переднюю панель, так и модули без панели, используемые в стойках.

Впервые даны определения принципам, положенным в основу создания того или иного интерфейса.

Литература

1. Классификация интерфейсов, применяемых в измерительной технике. Режим доступа: <http://kepstr.eltech.ru/tor/ptri/Literatura/Interf.pdf>.
2. Авдеев В.А. Периферийные устройства: интерфейсы, схемотехника, программирование. — М.: ДМК Пресс, 2012. — 848 с.
3. Микропроцессорные системы. Лекция №13. Последовательная синхронная и асинхронная передачи данных. Режим доступа: http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/a/ALEX1479/study/dis1_mpt/Tab4/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%2013.pdf
4. Понятие открытой системы. Режим доступа: http://www.bookasutp.ru/Chapter1_3.aspx.
5. Открытые системы, процессы стандартизации и профили стандартов. Режим доступа: http://citforum.ru/database/articles/art_19.shtml.
6. Классификация линий связи. Режим доступа: http://supervideoman.narod.ru/5_1.htm.
7. Виды связей— симплексная | полудуплексная | дуплексная связь. Режим доступа: http://www.mirkoda.ru/full_leson_cpp.php?id=26.

8. Особенности управления потоками данных в интерфейсах семейства RS. Режим доступа: http://lit.lib.ru/img/s/shewkopljias_b_w/text_0020-1/2004_09_34-36.pdf.
9. RS-232. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/RS-232>.
10. Асинхронность. Как это? Режим доступа: <http://pytalk.ru/forum/python/35934/>
11. Принцип программного управления. Режим доступа: <http://vssit.ucoz.ru/index/0-9>.
12. ГЛАВА 5. Ethernet/IEEE 802.3. Режим доступа: http://www.opennet.ru/docs/RUS/Cisco_ITO/5.html.
13. Шпаргалка по типам и стандартам Ethernet 802.3 tutorial . Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/208202/>.
14. IEEE-802.3. Режим доступа: http://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.3.
15. IEEE 802.3 Ethernet working group. Режим доступа: <http://www.ieee802.org/3/>.
16. Ethernet. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.
17. Стандарты Ethernet. Режим доступа: <http://sysadmin.te.ua/internet/standarty-ethernet.html>.
18. IEEE-1284. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_1284.
19. IEEE 1394. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_1394.
20. Что такое 1394a и 1394b? Режим доступа: <http://translate.google.com.ua/translate?hl=ru&sl=en&u=http://scorpionvision.co.uk/FAQRetrieve.aspx%3FID%3D36789&prev=/search%3Fq%3D1394b%26client%3Dfirefox%26hs%3Do2D%26rls%3Dorg.mozilla:ru:official%26channel%3Dsb>.
21. Интерфейсная шина общего назначения. Режим доступа: <http://www.gpib.ru/>.
22. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/USB>
23. Камак. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%90%D0%9C%D0%90%D0%9A>.
24. PCI. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/PCI>.
25. Научно-технический отчет. Режим доступа: <http://www.magtu.ru/site-services/file-archive/finish/324-p2136-meshheryakov-ayu/1716-nauchno-texnicheskij-otchet-1-j-etap.html>
26. PXI модульная измерительная платформа. Режим доступа: <http://www.mka.ru/?p=40046/>.
27. Измерительные технологии VXI. Режим доступа: <http://vxi.su/>.
28. LAN eXtensions for Instrumentation. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/LAN_eXtensions_for_Instrumentation.

References

1. Klassifikatsija interfejsov, primenjaemykh v izmeritelnoj tekhnike. Rezhim dostupa: <http://kepstr.eltech.ru/tor/ptri/Literatura/Interf.pdf>.
2. Avdeev V.A. Peripherijnye ustroystva: interfejisy, skhemotekhnika, programirovanije. — M.: DMK Press, 2012. — 848 p.
3. Mikroprotsessornye sistemy. Lektsija №13. Posledovatelnaja sinkhronnaja i asikhronnaja pereduchi dunnykh. Rezhim dostupa: http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/a/ALEX1479/study/dis1_mpt/Tab4/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%2013.pdf
4. Ponjatje otkrytoj sistemy. Rezhim dostupa: http://www.bookasutp.ru/Chapter1_3.aspx.
5. Otkrytye sistemy, protsessy standartizatsii i propili standartov. Rezhim dostupa: http://citforum.ru/database/articles/art_19.shtml.
6. Klassifikatsija linij svjazi. Rezhim dostupa: http://supervideoman.narod.ru/5_1.htm.
7. Vidy svjasej — simpleksnaja | poludupleksnaja | dupleksnaja svjaz. Rezhim dostupa: http://www.mir-koda.ru/full_leson_cpp.php?id=26.
8. Osobennosti upravlenija potokami dannyx v interfejсах semejstva RS. Rezhim dostupa: http://lit.lib.ru/img/s/shewkopljias_b_w/text_0020-1/2004_09_34-36.pdf.
9. RS-232. Rezhim dostupa: <http://ru.wikipedia.org/wiki/RS-232>.
10. Asinkhronnost. Kak eto? Rezhim dostupa: <http://pytalk.ru/forum/python/35934/>
11. Printsyp programmnoho upravlenija. Rezhim dostupa: <http://vssit.ucoz.ru/index/0-9>.
12. Glava 5. Ethernet/IEEE 802.3. Rezhim dostupa: http://www.opennet.ru/docs/RUS/Cisco_ITO/5.html.
13. Shpargalka po tipam i standartam Ethernet 802.3 tutorial . Rezhim dostupa: <http://habrahabr.ru/post/208202/>.
14. IEEE-802.3. Rezhim dostupa: http://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.3.
15. IEEE 802.3 Ethernet working group. Rezhim dostupa: <http://www.ieee802.org/3/>.
16. Ethernet. Rezhim dostupa: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Ethernet>.
17. Standarty Ethernet. Rezhim dostupa: <http://sysadmin.te.ua/internet/standarty-ethernet.html>.
18. IEEE-1284. Rezhim dostupa: http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_1284.
19. IEEE 1394. Rezhim dostupa: http://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_1394.
20. Chto takoe 1394a i 1394b? Rezhim dostupa: <http://translate.google.com.ua/translate?hl=ru&sl=en&u=http://scorpionvision.co.uk/FAQRetrieve.aspx%3FID%3D36789&prev=/search%3Fq%3D1394b%26client%3Dfirefox%26hs%3Do2D%26rls%3Dorg.mozilla:ru:official%26channel%3Dsb>.
21. Interfejnsnaja shyna obshego naznachenija. Rezhim dostupa: <http://www.gpib.ru/>.
22. USB. Rezhim dostupa: <http://ru.wikipedia.org/wiki/USB>
23. CAMAC. Rezhim dostupa: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%90%D0%9C%D0%90%D0%9A>.
24. PCI. Rezhim dostupa: <http://ru.wikipedia.org/wiki/PCI>.
25. Nauchno-texnicheskij otchet. Rezhim dostupa: <http://www.magtu.ru/site-services/file-archive/finish/324-p2136-meshheryakov-ayu/1716-nauchno-texnicheskij-otchet-1-j-etap.html>
26. PXI modulnaja izmeritelnaja platforma. Rezhim dostupa: <http://www.mka.ru/?p=40046/>.
27. Izmeritelnye tekhnologii VXI. Rezhim dostupa: <http://vxi.su/>.
28. LAN eXtensions for Instrumentation. Rezhim dostupa: http://ru.wikipedia.org/wiki/LAN_eXtensions_for_Instrumentation.