

Komunikácia s meracími prístrojmi

Ján Šaliga

Komunikačné rozhrania v meracej technike

- ▶ Medzisystémové (najmä prepojenie samostatných meracích prístrojov vo forme stolných alebo príručných prístrojov):
 - ▶ IEEE 488.1 (GPIB – vid' predchádzajúcu prednášku)
 - ▶ USB
 - ▶ LXI (ethernet, internet)
 - ▶ RS232, 485, 422, 423, ... (sériové rozhrania najmä v priemysle)
 - ▶ ...
- ▶ Systémové – spojenie tzv. jednodoskových meracích prístrojov (Instrument on a card), ktoré sú realizované ako moduly s funkciou meracieho prístroja ale bez ovládacích z zobrazovacích prvkov (predného panelu):
 - ▶ PXI, PXIe
 - ▶ PCI, PCIe
 - ▶ VXI
 - ▶ ...



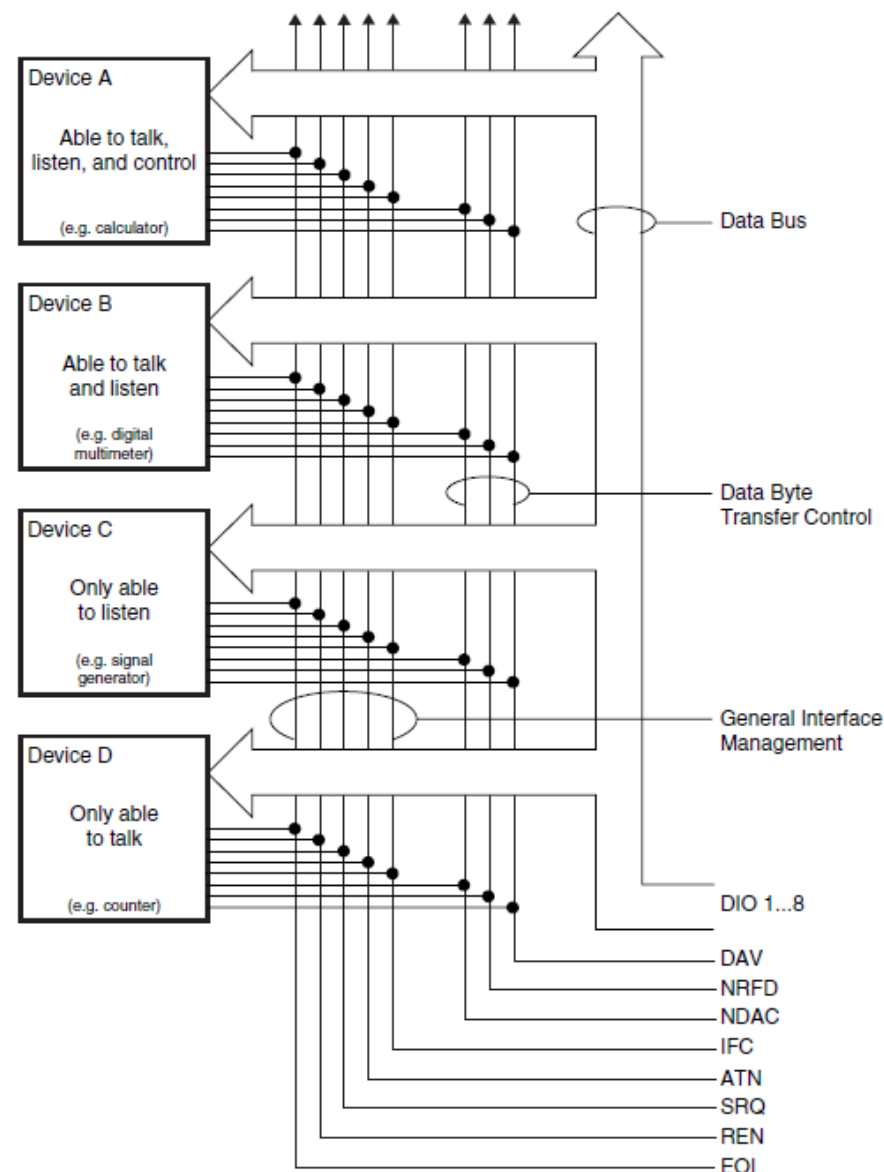
História programovania a diaľkového ovládania meracích prístrojov

- ▶ 1965 - Hewlett-Packard dnes Keysight navrhol rozhranie HP-IB pre meracie systémy
- ▶ 1975 - HP-IB sa stal IEEE 488 štandardom používaným s úpravami dodnes IEEE 488.1 a 488.2, IEC60625-1, -2, IEC 60488-1, -2.
- ▶ Paralelne sa začalo používať RS232, neskôr aj iné RSxxx
- ▶ Okolo roku 2000 USB a LAN



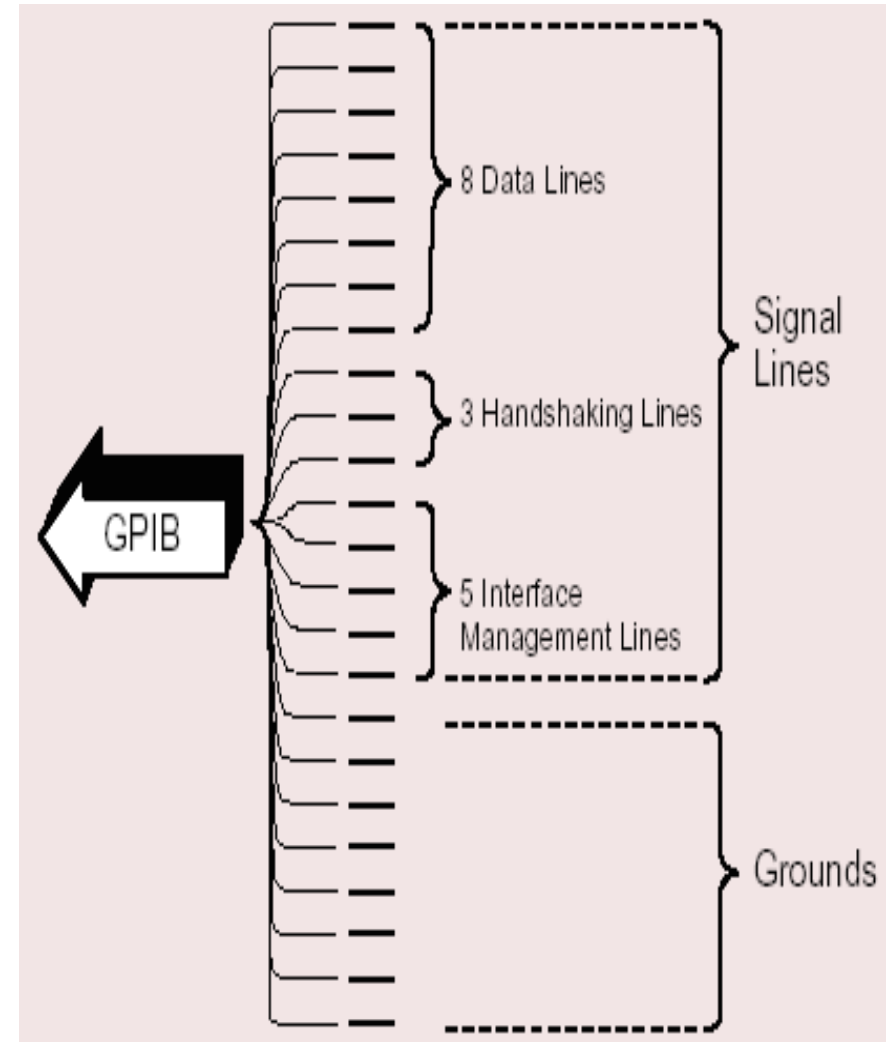
Základné charakteristiky GPIB

- ▶ Akýkoľvek typ prístroja
- ▶ Každý prístroj (max. 15) má nastavenú jedinečnú adresu z rozsahu 0-31 v základnom adresovacom móde
- ▶ Lineárna alebo hviezdicová konfigurácia kabeláže
 - ▶ 24/25 vodičov
 - ▶ 3 typy konektorov (Amphenol CHAMP, Cinch Series 57, MICRO RIBBON type)
 - ▶ Celková dĺžka káblov max. 20m, max. 4m na prístroj
- ▶ TTL úrovne, negatívna logika, budiče: 3-stavové alebo s otvoreným kolektorom (NDAC, NRFD, SRQ)



Vodiče a signály

- ▶ Dátová zbernica (8 vodičov) obdoba typickej multiplexovanej počítačovej zbernice (stykové/prístrojové správy)
- ▶ Handshake (zbernica pre riadenie prenosu)
- ▶ Zbernica pre riadenie styku = ovláda niektoré stykové (komunikačné) funkcie



Typy správ v GPIB

- ▶ Komunikácia je založená na rôznych „správach“:
 - ▶ Prístrojové správy (Device-dependent messages) sa vzťahujú (hlavne) k prístrojovým (meracím) funkciám prístroja
 - ▶ Stykové správy (Interface messages) sa týkajú komunikačných (interfejsových) funkcií a slúžia hlavne k riadeniu komunikácie v systéme



Hlavné komunikačné funkcie

- ▶ Systémový radič (System Controller) a aktívny radič (Active Controller) riadia komunikáciu, napr. vyberajú (adresujú) prístroje pre komunikáciu, vysielajú stykové správy, monitorujú korektný priebeh komunikácie a pod.
- ▶ Príjemca (poslucháč – Listener) prijíma prístrojové správy
- ▶ Vysielač (hovorca – Talker) vysiela prístrojové správy
- ▶ ...

Veľmi jednoduché systémy môžu pracovať aj bez radiča (talk-only and listen-only)



Zbernica pre riadenie styku

- ▶ ATN (Attention) – riadi multiplex stykové(log. 1)/prístrojové (log. 0) správy. Ovládaný radičom
- ▶ EOI (end or identify) – dva významy:
 - ▶ Talker: označuje koniec vysielanej prístr. správy,
 - ▶ Controller: vyvolanie tzv paralelného hlásenia (vyslanie stavových bitov prístrojmi).
- ▶ IFC (interface clear) – „reset“ komunikácie (interfejsov) aktivovaný radičom.
- ▶ REN (remote enable) – prepnutie prístrojov do diaľkového ovládania (radičom).
- ▶ SRQ (service request) – vyžiadanie obsluhy od radiča ľubovoľným prístrojom.



IEEE 488.2 a SCPI

- ▶ 488.1 (1975) – chýbalo najmä: definícia dátových formátov a kódovania, nedostatočná indikácia stavov prístrojov, protokoly výmeny správ, bežné konfiguračné príkazy atď.
- ▶ 488.2 (1987) vznikol z 488.1 (compatible): značná orientácia na softvér, kompatibilitu dát, indikácia stavov a ošetrovanie (obsluha) chýb
- ▶ SCPI – rozšírenie kompatibility správ využitím zovšeobecneného modelu meracieho prístroja



IEEE 488.2 Povinné sekvencie radiča

Description	Control Sequence
Send ATN-true commands	SEND COMMAND
Set address to send data	SEND SETUP
Send ATN-false data	SEND DATA BYTES
Send a program message	SEND
Set address to receive data	RECEIVE SETUP
Receive ATN-false data	RECEIVE RESPONSE MESSAGE
Receive a response message	RECEIVE
Pulse IFC line	SEND IFC
Place devices in DCAS	DEVICE CLEAR
Place devices in local state	ENABLE LOCAL CONTROLS
Place devices in remote state	ENABLE REMOTE
Place dev. in remote with local lockout state	SET RWLS
Place devices in local lockout state	SEND LLO
Read IEEE 488.1 status byte	READ STATUS BYTE
Send group execution trigger (GET) message	TRIGGER

IEEE 488.2 Protokoly radiča

Keyword	Name	Compliance
RESET	Reset System	Mandatory
FINDRQS	Find Device Requesting Service	Optional
ALLSPOLL	Serial Poll All Devices	Mandatory
PASSCTL	Pass Control	Optional
REQUESTCTL	Request Control	Optional
FINDLSTN	Find Listeners	Optional
SETADD	Set Address	Optional, but requires FINDLSTN
TESTSYS	Self-Test System	Optional

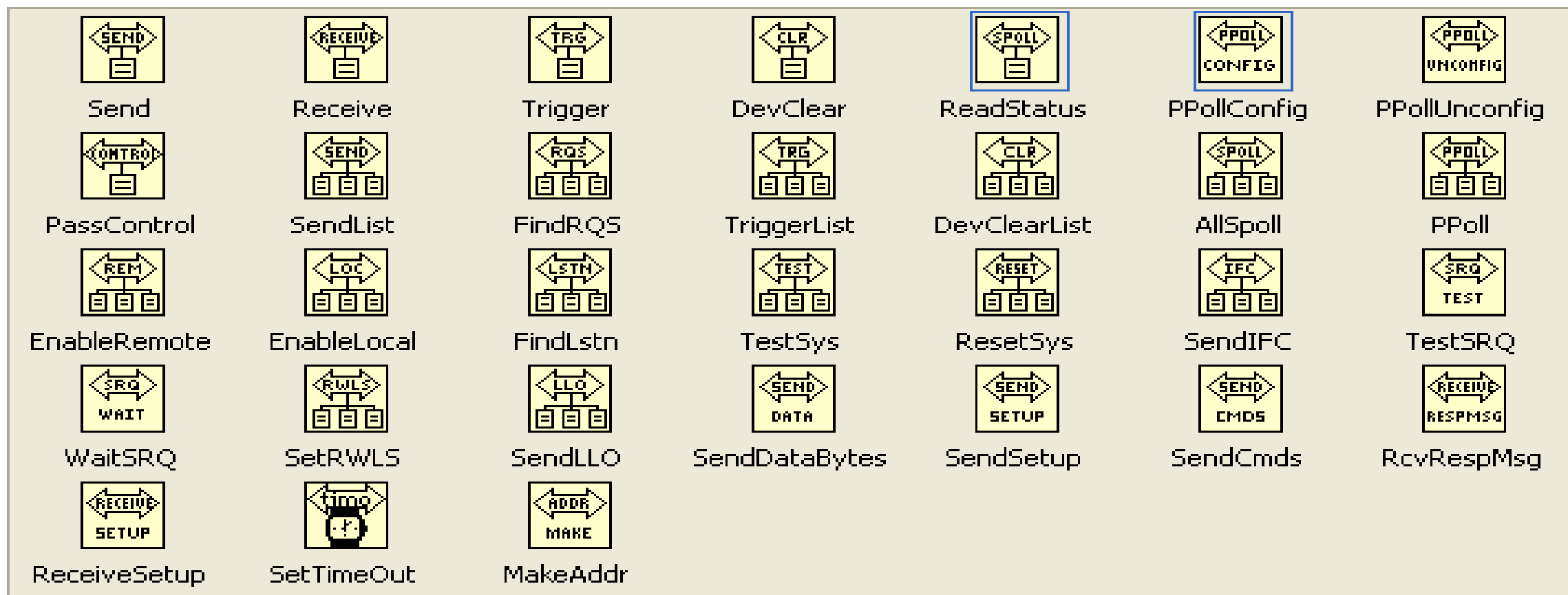


Implementácia v LabVIEW

Instrument I/O

└ GPIB

└ GPIB 488.2

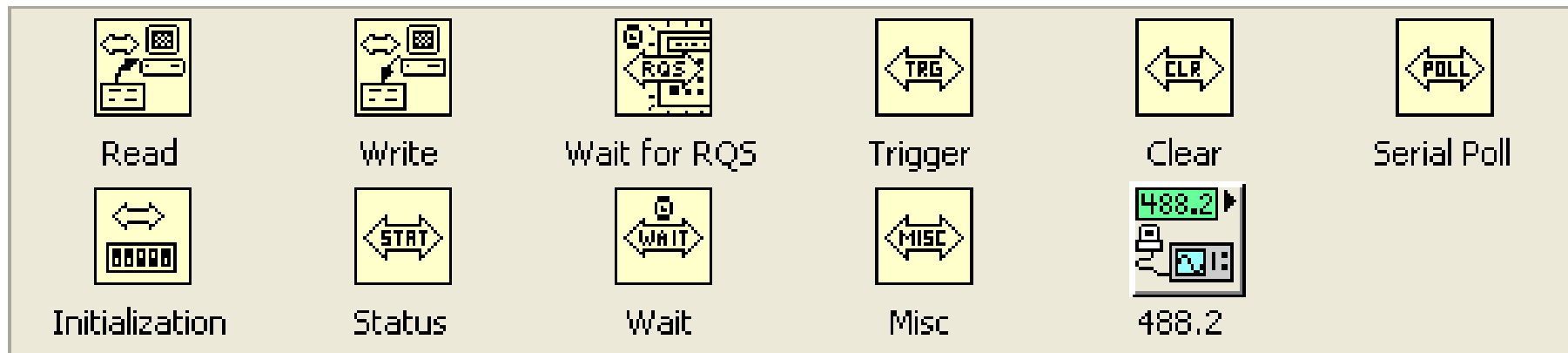


Zjednodušená ponuka pre bežné úlohy

- ▶ Pre bežné úlohy, napr. v rámci semestrálnych projektov, pravdepodobne vystačíme s zjednodušenou základnou škálou komunikačných GPIB funkcií

▼ Instrument I/O

└ GPIB

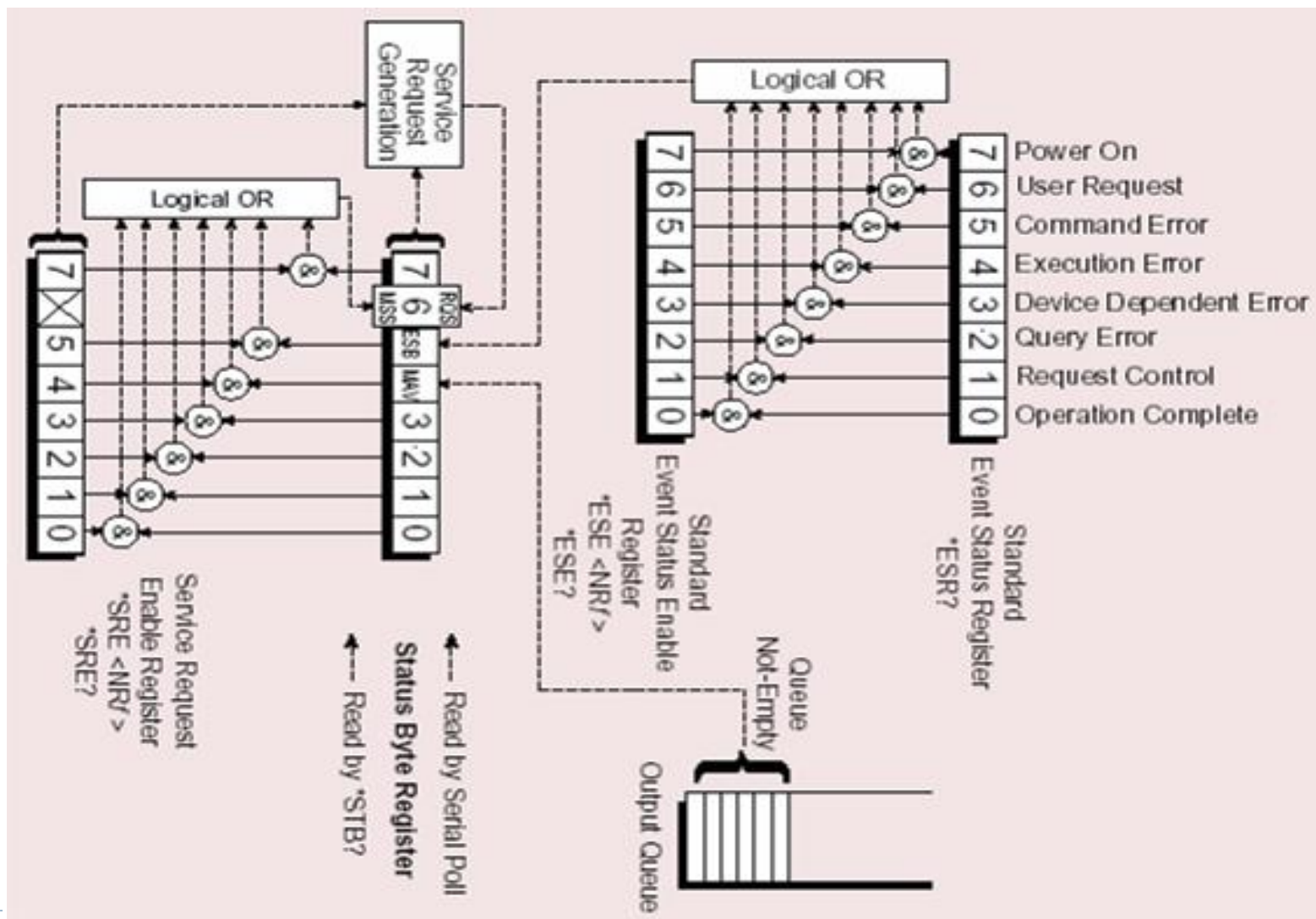


Bežné povely podľa IEEE 488.2

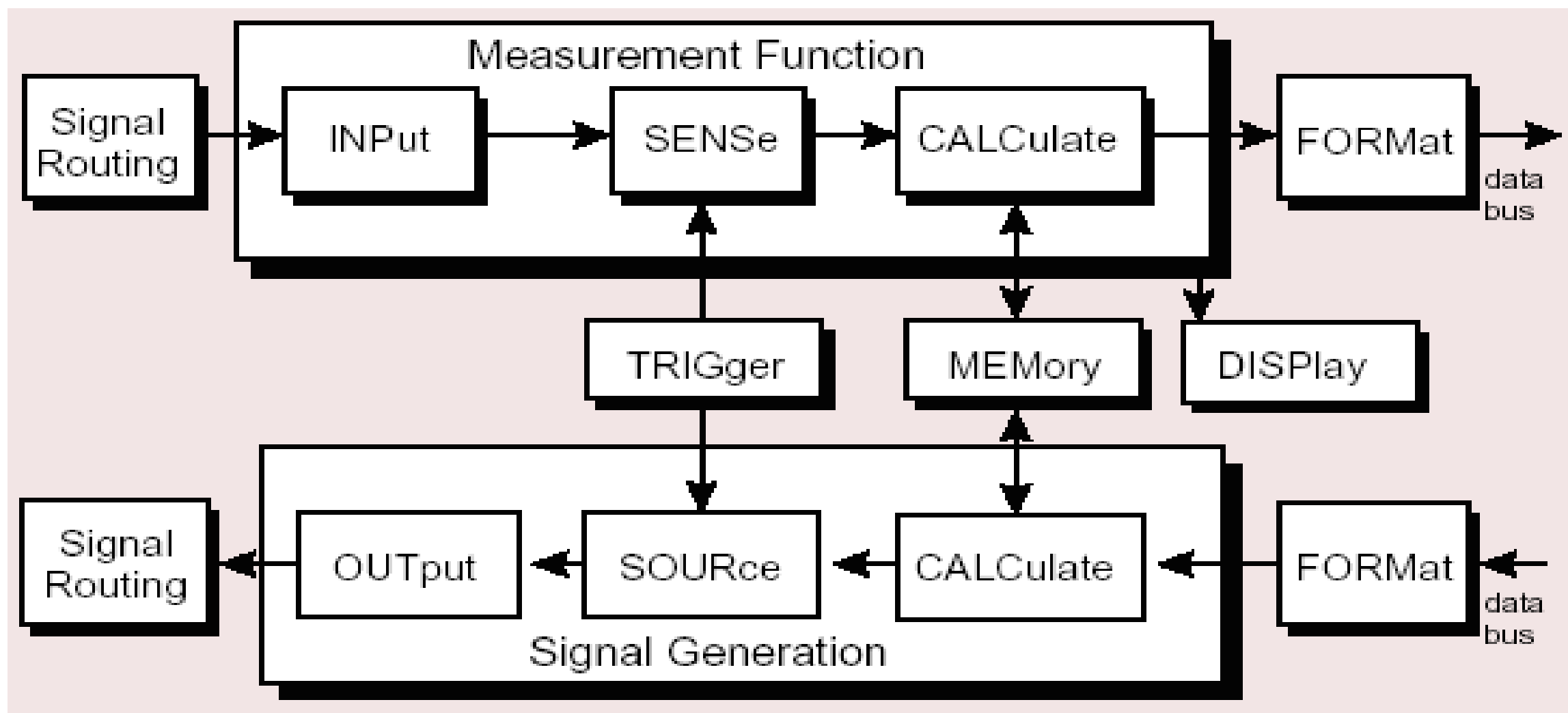
Mnemonic	Group	Description
*IDN?	System Data	Identification query
*RST	Internal Operations	Reset
*TST?	Internal Operations	Self-test query
*OPC	Synchronization	Operation complete
*OPC?	Synchronization	Operation complete query
*WAI	Synchronization	Wait to complete
*CLS	Status and Event	Clear status
*ESE	Status and Event	Event status enable
*ESE?	Status and Event	Event status enable query
*ESR?	Status and Event	Event status register query
*SRE	Status and Event	Service request enable
*SRE?	Status and Event	Service request enable query
*STB?	Status and Event	Read status byte query



Stavový model prístroja IEEE 488.2

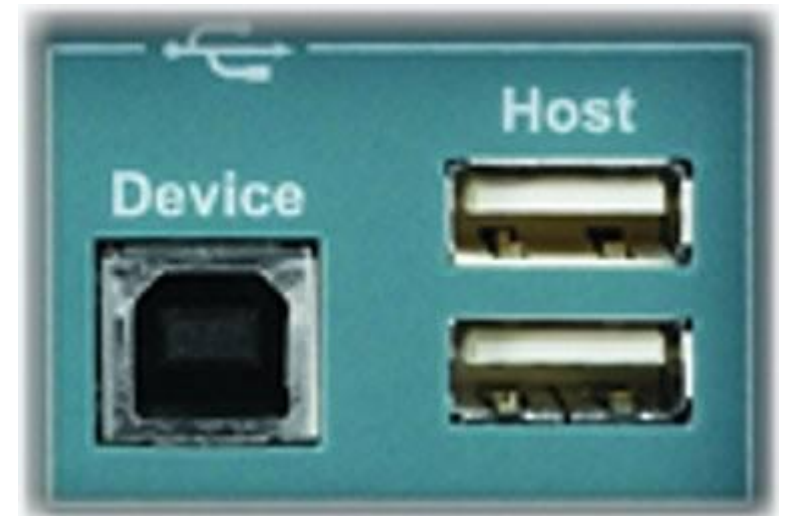


SCPI model prístroja



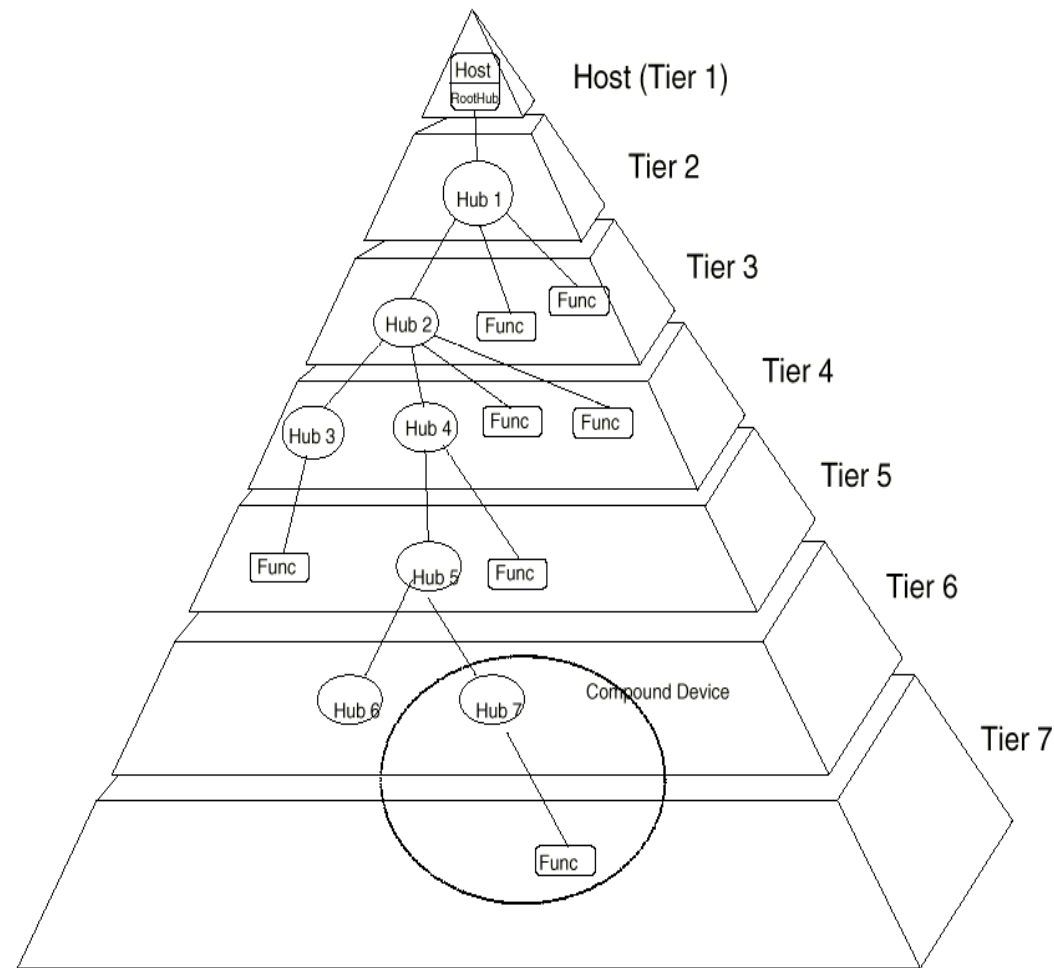
USB v meracej technike

- ▶ Universal serial bus – navrhnutý pôvodne pre zjednotenie rozhraní PC pre bežné periférie a pre spotrebnú elektroniku
- ▶ Veľké rozšírenie a nízka cena za implementáciu viedli k uplatneniu aj v meracej technike
- ▶ V existuje viacero verzií USB 1.x, 2.x, 3.x, 4.x, Wireless USB.
- ▶ **V meracej technike v súčasnosti najmä verzia 2.0**
- ▶ V prístroji obyčajne dva typy USB rozhrania
 - ▶ Hostiteľské (host) – slúži najmä pre pripojenie externého pamäťového zariadenia (pamäťové kľúče pre ukladanie dát a nastavenia prístroja)
 - ▶ **Host'ovské (Device) pre pripojenie prístroja k riadiacemu počítaču.**



Vlastnosti USB

- Komunikácia v USB je založená na automatickej konfigurácii komunikačnej štruktúry (pridelenie adresy, zistenie vlastností - implementovanej verzie USB a triedy/typu pripojeného zariadenia)
- Štruktúra je vytváraná z hubov (vetvenie) a koncových zariadení (Func)
- Po konfigurácii beží komunikácia prostredníctvom tzv. Trúbíc a to **vždy a výlučne medzi Hostom (PC) a zariadením = dve zariadenia nemôžu komunikovať priamo medzi sebou.**
- Zložitá štruktúra môže znižovať reálnu maximálnu prenosovú (časový multiplex zariadení)



USB pre meranie

- ▶ Všetky možné zariadenia s rozhraním USB sa z hľadiska programovania delia na triedy (class) a podtriedy.
- ▶ Ovládače pre niektoré triedy sú súčasťou inštalácie Windows, napr. Trieda Human interface device (HID), kam patrí napr. Štandardná myš a klávesnica. Pre iné zariadenia je potrebné inštalovať driver zariadenia resp. driver triedy
- ▶ Ovládače pre meracie prístroje cez USB sú štandardizované v Test and Measurement Class (USBTMC kód FEh - nie je súčasťou inštalácie Win, je potrebné doinštalovať)
- ▶ Funguje ako emulácia komunikácie po GPIB s obmedzenými možnosťami – výhoda zjednodušenie programovania pomocou VISA – vid' v ďalšom
- ▶ Ak prístroj nie je navrhnutý podľa pravidiel USBTMC (výnimočné prípady) je možné s ním komunikovať na nižšej úrovni v tzv. Raw móde, ale je nutné mať podrobný opis protokolu komunikácie od výrobcu prístroja
- ▶ Pozrite napr. <https://www.ni.com/cs-cz/innovations/white-papers/06/six-things-you-need-to-know-about-usb-instrument-control.html>



RS xxx, ...

- ▶ Rozhrania RS 232, 485, ... označme v ďalšom ako RS xxx.
- ▶ Ide o jednoduché sériové rozhrania, ktoré sa v súčasnosti využívajú najmä v priemysle (najmä RS 485)
- ▶ Sú definované iba na najnižšej úrovni – fyzická a linková vrstva, ostatné môže dodefinovať užívateľ podľa aplikačných potrieb.
 - ▶ Dôsledok: rôzne priemyselné rozhrania na báze RSxxx (fieldbus) vzájomne nekompatibilné
- ▶ V klasickej meracej technike v súčasnosti používané pomerne zriedka (hlavne staršie prístroje alebo niektoré špeciálne meracie zariadenia pre priemysel)
 - ▶ Nevýhoda: pomalá komunikácia
 - ▶ Výhoda: odolnosť voči rušeniu, relatívne veľké vzdialenosti voči USB a GPIB)
- ▶ Programovanie komunikácie: je možné využiť VISA alebo programovať pomocou špecifických príkazov pre sériovú linku v danom jazyku (knihnici)



Porovnanie RS xxx

	RS232	RS422	RS485
Cabling	single ended	single ended multi-drop	multi-drop
Number of Devices	1 transmit 1 receive	1 transmitter 10 receivers	32 transmitters 32 receivers
Communication Mode	full duplex	full duplex half duplex	full duplex half duplex
Max. Distance	50 feet at 19.2 Kbps	4000 feet at 100 Kbps	4000 feet at 100 Kbps
Max. Data Rate	19.2 Kbps for 50 feet	10 Mbps for 50 feet	10 Mbps for 50 feet
Signaling	unbalanced	balanced	balanced
Mark (data 1)	-5 V min. -15 V max.	2 V min. (B>A) 6 V max. (B>A)	1.5 V min. (B>A) 5 V max. (B>A)
Space (data 0)	5 V min. 15 V max.	2 V min. (A>B) 6 V max. (A>B)	1.5 V min. (A>B) 5 V max. (A>B)
Input Level Min.	+/- 3 V	0.2 V difference	0.2 V difference
Output Current (short circuit)	500 mA <i>(Note that the driver ICs normally used in PCs are limited to 10 mA)</i>	150 mA	250 mA

Plný a poloduplex RS 485

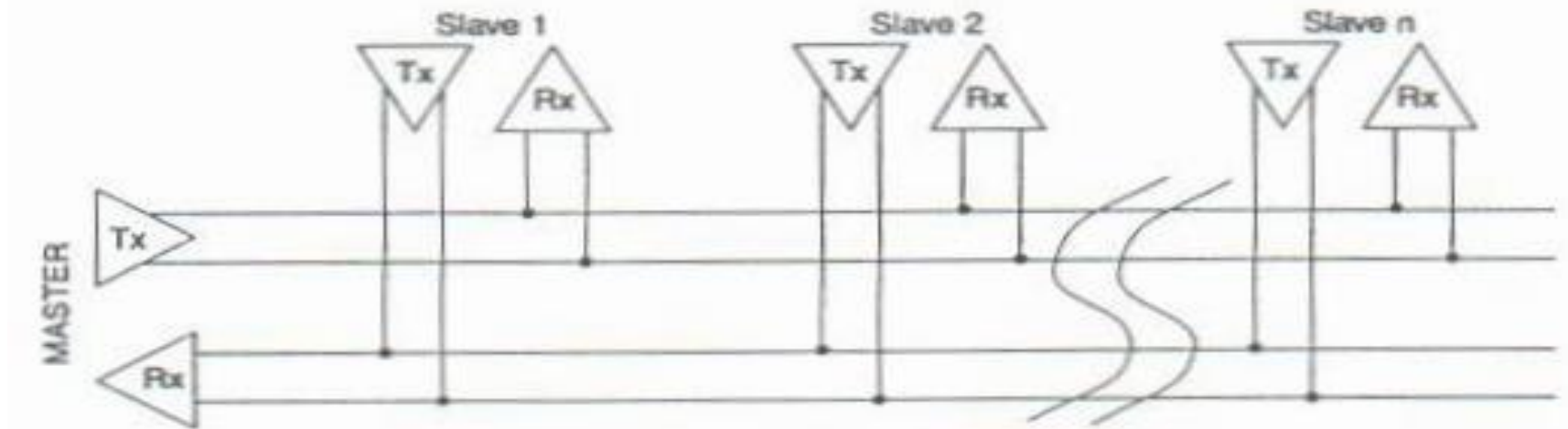
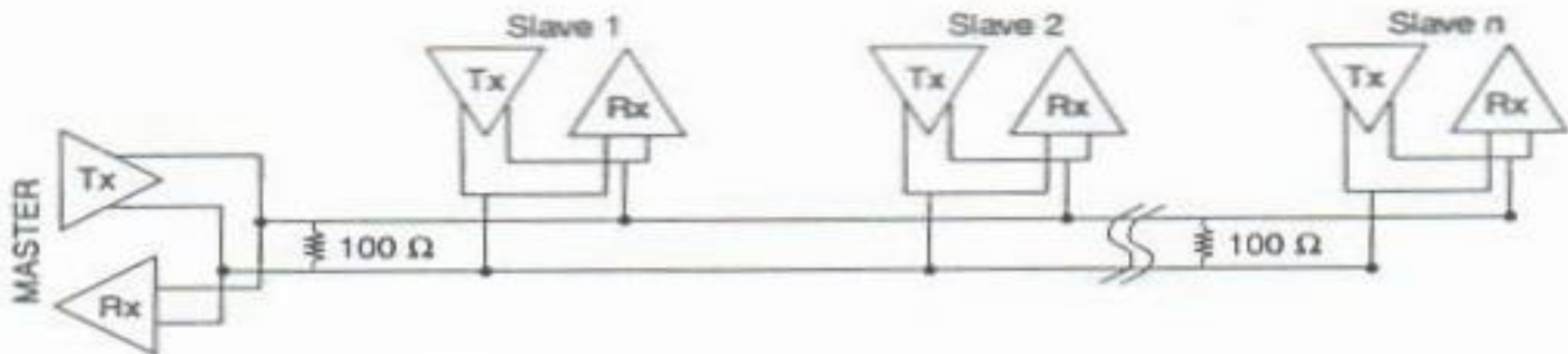


Figure B-1. Typical Full-Duplex System



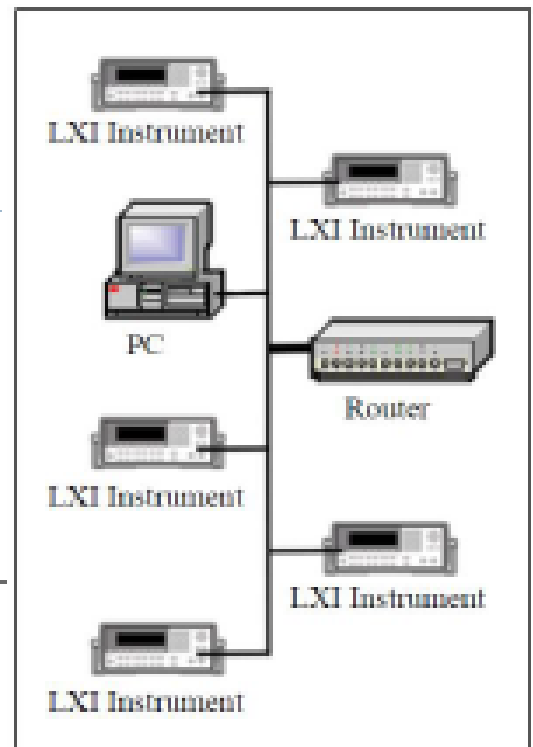
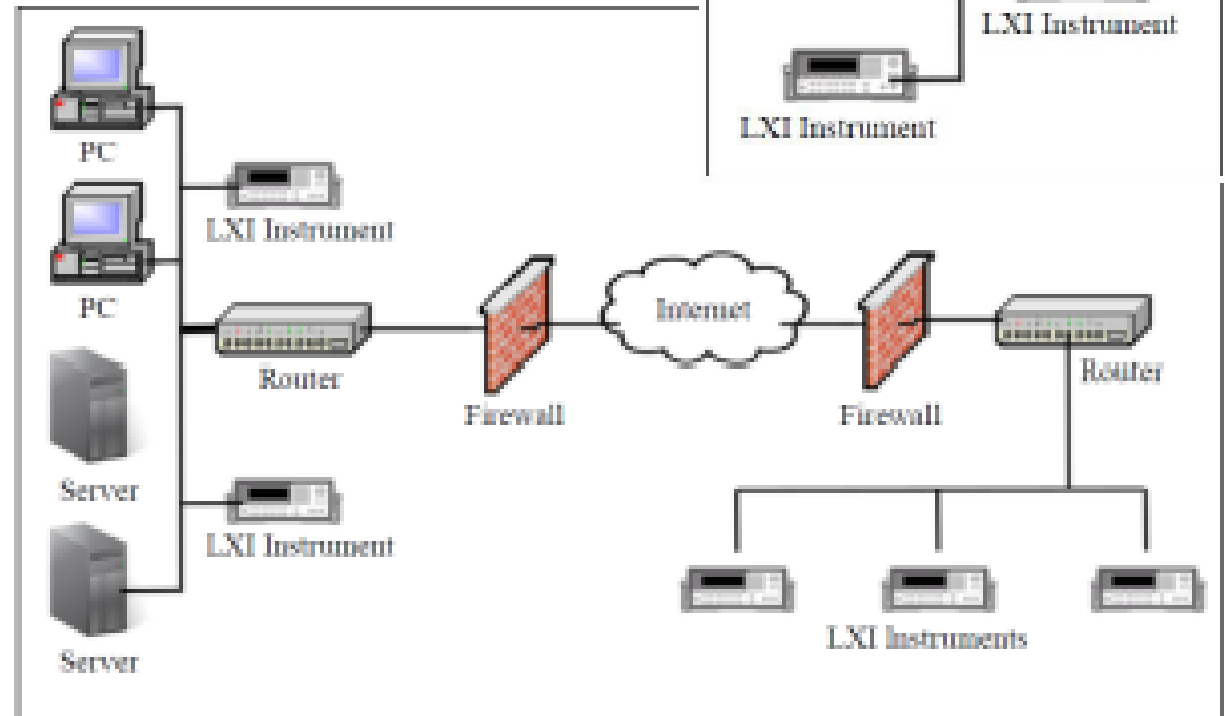
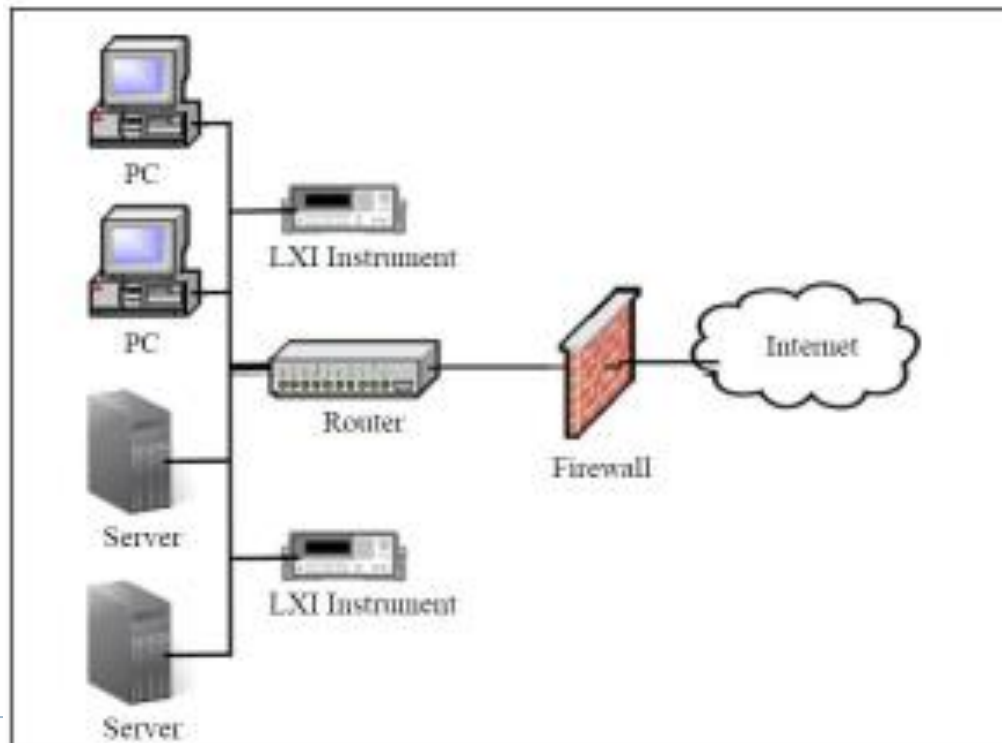
LXI – LAN extension for instrumentation

- ▶ Dohoda výrobcov meracej techniky na štandardizáciu pri prepájaní meracích prístrojov pomocou sietí (LAN – Ethernet, Internet) (www.lxistandard.org)
- ▶ LXI prístroj neznamená iba LAN prístroj = prístroj ovládaný prostredníctvom LAN
- ▶ LXI kompatibilné LAN prístroje:
 - ▶ Obsahujú súbor LAN komunikačných služieb
 - ▶ Podpora LAN discovery a konfigurácie prostredníctvom LAN
 - ▶ Štandardný web server pre konfiguráciu a riadenie merania
 - ▶ IVI ovládač (viď ďalej)
- ▶ Základný Standard definujúci tzv. Referenčný dizajn je ver 1.4 z 2011
- ▶ Aktuálna verzia štandardu je 1.6 a je v nej výrazne posilnená stránka bezpečnosti komunikácie



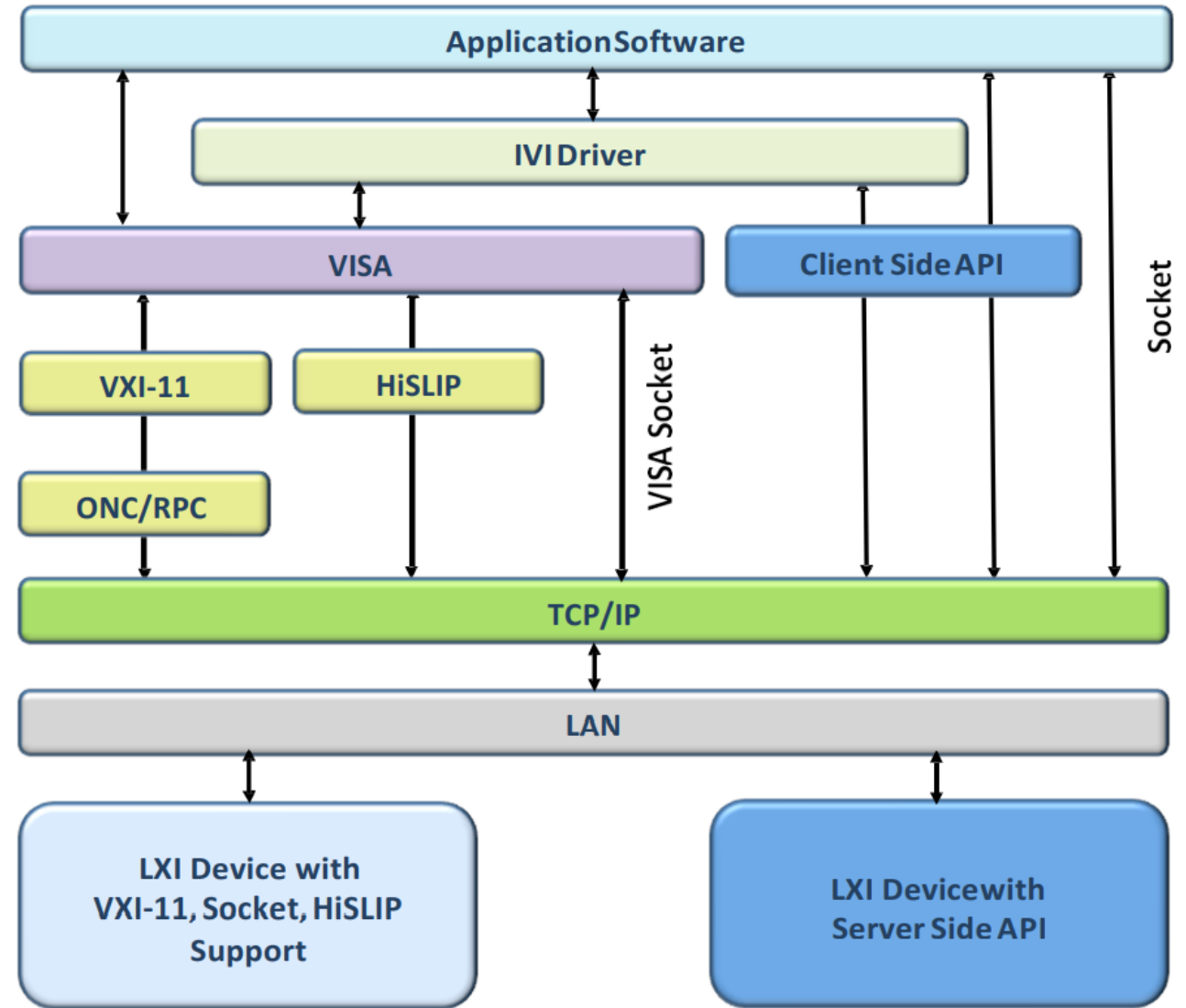
LXI a Internet

- ▶ Merací systém na báze LXI môže využívať nie len lokálne izolované siete ale aj internet pre budovanie rozsiahlych distribuovaných meracích systémov
- ▶ Vhodné nastavenie firewallov

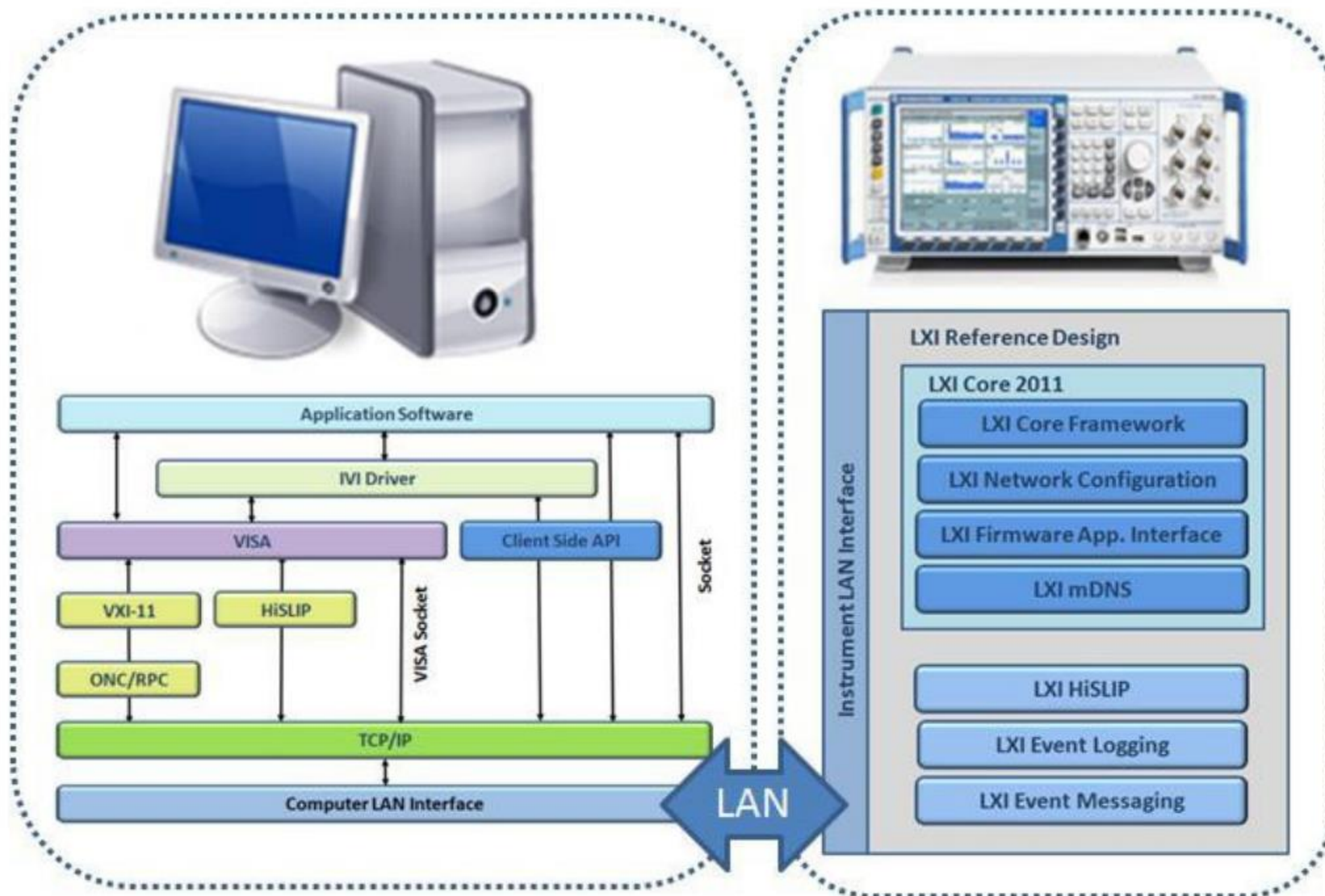


Referenčný dizajn

- ▶ HiSLIP (High-Speed LAN Instrument Protocol - [Microsoft Word - IVI-6.1_HiSLIP-1.1-2011-02-24.docx \(ivifoundation.org\)](#)) – protokol na báze TC/IP (port 4880) špeciálne navrhnutý pre meracie prístroje
 - ▶ Podporuje IPv6
 - ▶ Využíva synchrónny (dáta) aj asynchrónny (riadenie) prenos dát
- ▶ ONC/RPC – implementácia diaľkového volania procedúry pre distribuované aplikácie na vzdialených zariadeniach.



Funkcie a procedúry v LXI



Povinné vlastnosti a charakteristiky LXI

- ▶ Protokol TCP/IP, IPv4/IPv6, nastavenie všetkých parametrov pre komunikáciu na internete (konfigurácia sieťových parametrov, fixné, DHCP, ...)
- ▶ Upgrade firmvéru prístroja cez sieť
- ▶ V prístroji je zabudovaný web server využívajúci html5, java, ...
 - ▶ Riadenie činnosti, prenos meracích dát
- ▶ Zisťovanie (detekcia) prístrojov zapojených do siete pomocou špeciálnej utility (softvéru na PC)

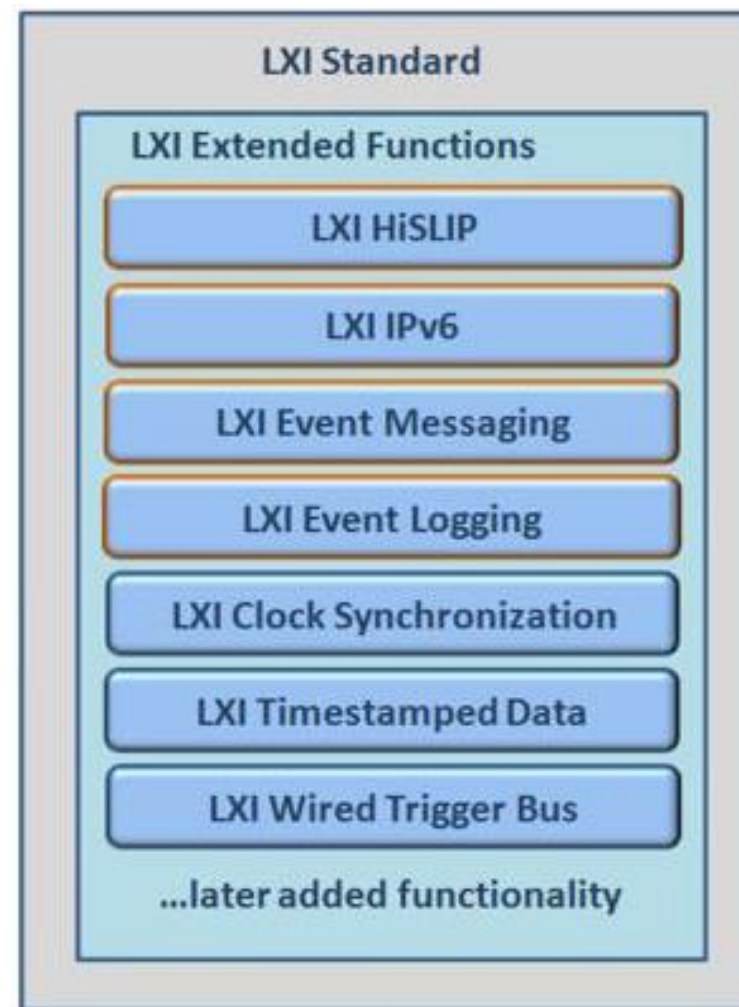


Povinné implementované protokoly

Standard LXI Device Ports, Protocols, and Services			
Protocol/Service	Port	Base Protocol	Notes
mDNS	5353	UDP/TCP	Zero-config protocol for <hostname>.local address resolution; service discovery; Multicast 224.0.0.251, FF02::FB
Http	80	TCP	Instrument web pages
ICMPv4		ICMP	Typically enables echo request/respond for ping
ICMPv6		ICMP	Optional - Typically enables echo request/respond for ping, also SLAAC for IPv6 addresses, RDDNS
Arp		Arp	Used to confirm address assignments
DHCPv4	67/68	UDP/TCP	IPv4 address assignment, DNS Server, Dynamic DNS, Gateway
DHCPv6	546/547	UDP/TCP	Optional IPv6 address assignment, DNSv6 Server, IPv6 Gateway
DNS	53	UDP	Naming service
Telnet	23	TCP	Bidirectional interactive text-oriented communication.

Voliteľné vlastnosti a charakteristiky LXI

- ▶ Synchronizácia merania
 - ▶ Triggering
 - ▶ Hodiny
- ▶ Časová známka nameraných dát
- ▶



Voliteľné protokoly

LXI Device-specific Ports, Protocols, and Services			
Protocol/Service	Port	Base Protocol	Notes
HiSLIP	4880	TCP	Optional instrument control protocol
VXI-11	111	TCP	Builds upon Sun-RPC and port-mapper.
Scpi-raw	5025	TCP	Optional instrument control protocol
Scpi-telnet	5024	TCP	Optional instrument control protocol over Telnet
LXI-eventsvc	5044	UDP/ TCP	Optional LXI Event support for instrument triggering; multicast 224.0.23.159, FF02::138
Ptp-event	319	UDP/ TCP	Optional LXI Profile IEEE 1588 Precision Time Protocol; multicast 224.0.1.129, FF02::181
Ptp-general	320	UDP/ TCP	Optional LXI Profile IEEE 1588 Precision Time Protocol; multicast 224.0.1.129, FF02::181

Nástroje pre programovanie komunikácie v meracej technike

- ▶ Ovládanie cez špecifické ovládače komunikačných rozhraní – zložité, dnes používané zriedka
- ▶ VISA – Virtual standard architecture – programovanie (driver, knižnice funkcií) zjednocujúce programovanie bez ohľadu na fyzickú verziu komunikačného rozhrania (GPIB, RSxxx, USB, Ethernet, ...)
 - ▶ SCPI – System command for programmable instruments – štandardizovaný jazyk pre ovládanie funkcií rôznych prístrojov
- ▶ Instrument driver – nastavbový driver (knižnica) pre konkrétny typ prístroja nad VISA. Výhoda: nie je potrebné poznať príkazy pre prístroj
- ▶ IVI driver – nastavba nad VISA pre skupinu meracích prístrojov, napr. DMM, generátor, osciloskop, ...

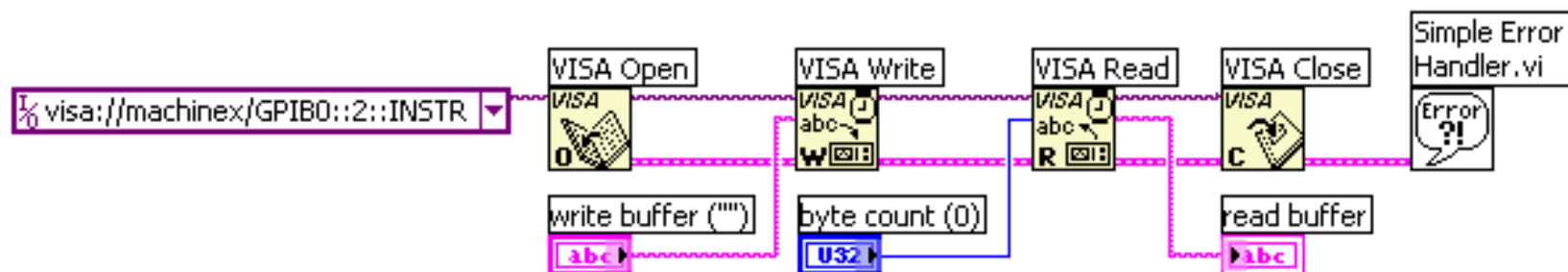


VISA

- ▶ Univerzálny komunikačný driver
- ▶ Dodávajú rôzni výrobcovia meracích prístrojov zdarma ako univerzálny ovládač bez ohľadu na typ a výrobcu prístroja
- ▶ Pri volaní z aplikácií niekedy problém s kompatibilitou s VISA odlišných výrobcov
- ▶ Súčasťou je konfiguračný a testovací program (napr. MAX u NI)
- ▶ Pri použití je potrebné otvoriť komunikáciu s vybraným prístrojom cez zvolené rozhranie (session):
 - ▶ Môže byť potrebné nastaviť podmienky komunikácie podľa typu rozhrania, napr. prenosovú rýchlosť, stop bity a pod. u RSxxx a pod.
- ▶ Následne odosielať a prijímať dáta kódované podľa opisu výrobcu prístroja (správy, messages)
- ▶ Ukončenie použitia prístroja: ukončenie spojenia = uzavretie session



Architektúra VISA, SCPI



► Názvy prístrojov v štandardizovanom formáte podľa komunikačného rozhrania, napr.

- GPIB[board]::primary address[::GPIB secondary address][::INSTR]
- ASRL[board][::INSTR]
- TCPIP[board]::host address[::LAN device name][::INSTR]
- USB[board]::manufacturer ID::model code::serial number[::USB interface number][::INSTR]
- USB[board]::manufacturer ID::model code::serial number[::USB interface number]::RAW

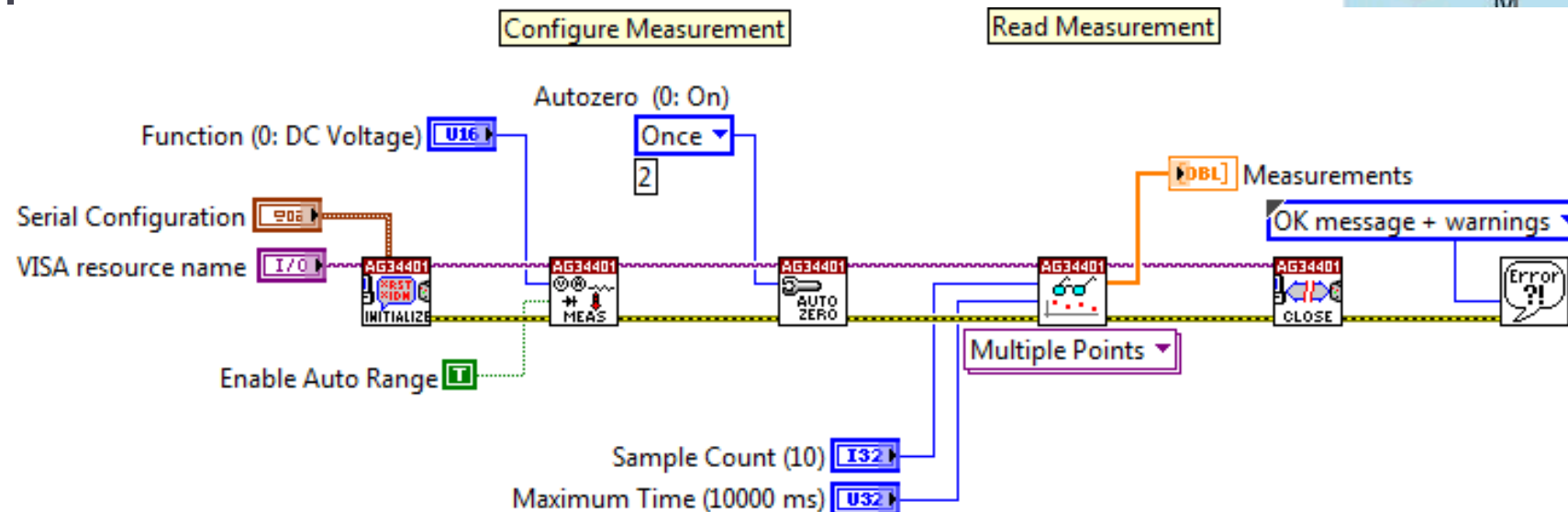
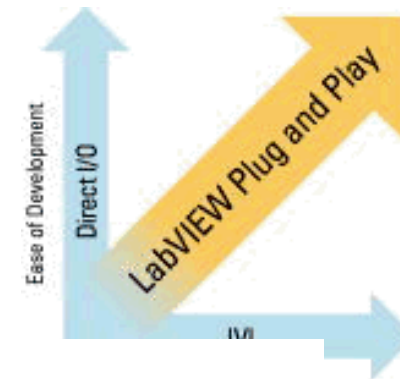
► SCPI – jazyk pre riadenie prístrojov:

- Tvar príkazov – anglické slová vo forme skratky alebo celého slova
- Syntax správy:
 - Oddelovače ; , . Medzera
 - Ukončenie správy: CR-LF, LF, ...
 - Kódovanie čísel: desatinný ASCII, binárny, ...
 - ...
- Model prístroja
- Stavové registre a bity
- ...



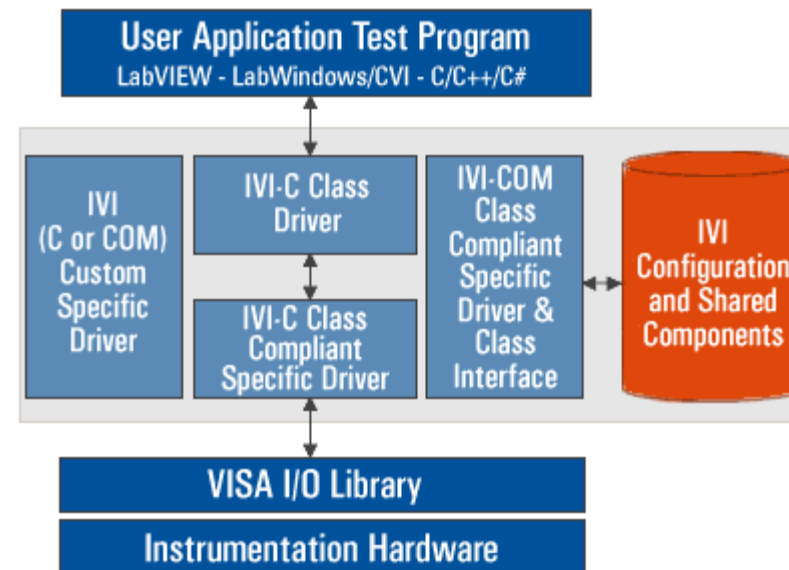
Prístrojové ovládače

- ▶ Instrument driver = súbor rutín pre ovládanie konkrétneho prístroja, napr. inicializácia, konfigurácia, odoslanie dát, načítanie dát, triggering a pod.
- ▶ Typy:
 - ▶ VISA
 - ▶ Plug-and-play
 - ▶ IVI

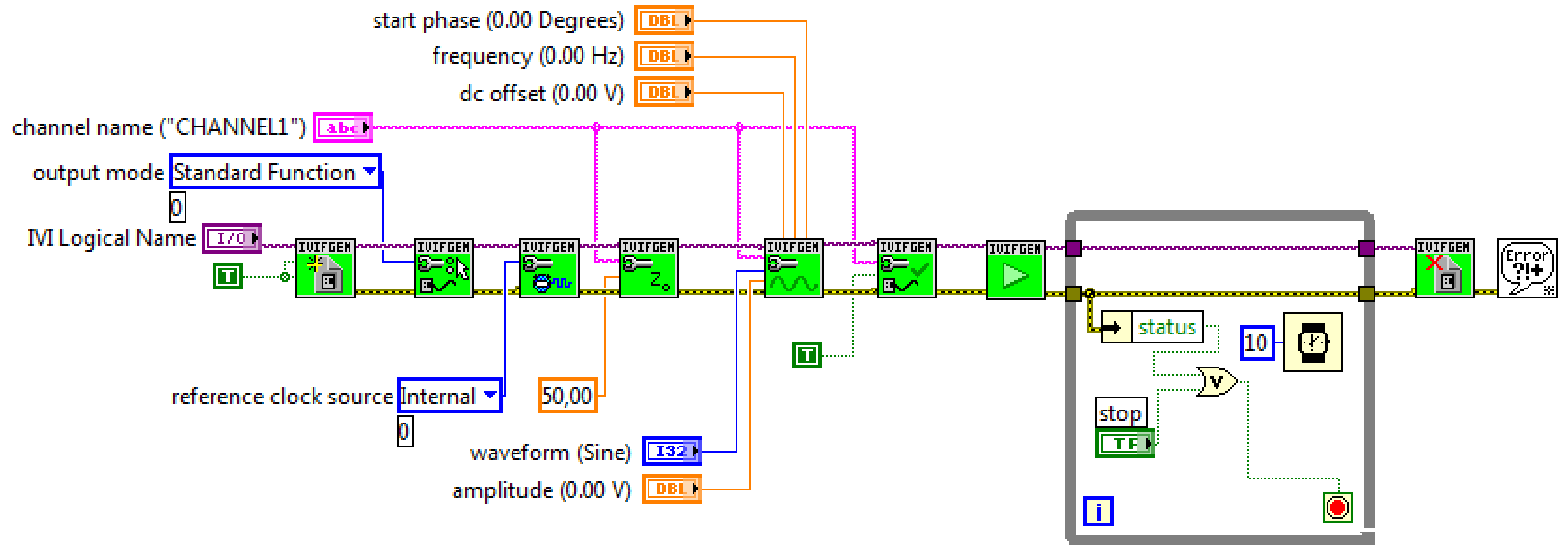


Ovládače IVI

- ▶ Interchangeable Virtual Instruments (IVI) Foundation (1998 - <http://www.ivifoundation.org/>) – definícia a štandardizácia ovládačov pre testovanie a meranie
- ▶ Triedy prístrojov:
 - ▶ Digital Multimeter
 - ▶ Oscilloscope
 - ▶ DC Power Supply
 - ▶ Arbitrary Waveform/Function Generator
 - ▶ Switch
 - ▶ Power Meter
 - ▶ Spectrum Analyzer
 - ▶ RF Signal Generator, ...
- ▶ Architektúra:
 - ▶ Nadstavba VISA
 - ▶ Generické funkcie pre triedu prístrojov (volajú špecifické drivre pre konkrétne prístroje)



Príklad programu s IVI



Výhody IVI

- ▶ Vysoký výkon, stabilita a robustnosť, napr. filtrácia duplicitných príkazov posielaných do prístroja, multithread, ...
- ▶ Simulácia prístroja – vývoj aplikácie bez použitia samotného prístroja.
Simulované dáta:
 - ▶ Zo špecifického ovládača v simulačnom móde
 - ▶ Z IVI ovládača z rozšírenej triedy IVI driverov (IVI Compliance Package)
- ▶ Vymeniteľnosť prístrojov
- ▶ Jednoduchý vývoj ovládačov pomocou špeciálnych nástrojov, napr. Driver Development Wizard



IVI-C a IVI-COM

▶ IVI-C:

- ▶ Vytvorené a optimalizované pre C (ANSI C)
- ▶ Vhodné a použiteľné v LabVIEW
- ▶ Otvorený kód (zvyčajne)

▶ IVI-COM:

- ▶ Vytvorené a optimalizované pre Visual Basic - Microsoft COM (Component Object Model)
- ▶ Použiteľné ale nie optimalizované pre iné jazyky
- ▶ Nezverejnený kód

