

Řízení experimentu počítačem

Úloha 2: Ovládání multimetru přes GPIB z LabView, studium fázového přechodu

1 Rozhraní GPIB

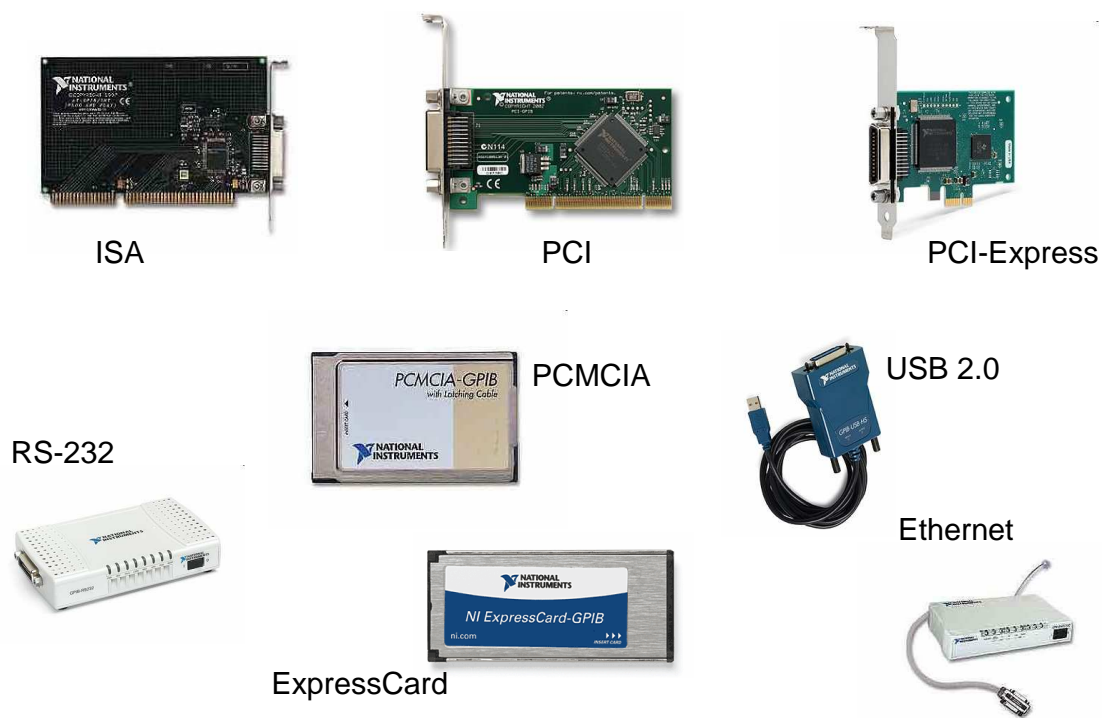
Rozhraní *General Purpose Interface Bus* bylo navržen firmou *Hewlett Packard* již v roce 1965 jako paralelní rozhraní pro připojování měřicích zařízení. Jeho vhodná koncepce způsobila přijetí systému v roce 1975 jako standard IEEE 488, který upřesnil mechanické, elektrické a funkční podmínky. Další standard IEEE 488.2 (1987, 1992) stanovil přesný způsob komunikace. Významným krokem bylo také vytvoření jednotného jazyka SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*) pro dálkové ovládání měřicích zařízení.



Obrázek 1: Rozhraní GPIB ve formě zařízení pro sběrnici USB 2.0.

GPIB je osmibitové paralelní rozhraní, které může být realizováno jako zásuvná karta (pro sběrnici PCI Express, PCI, ISA), přídatná karta PCMCIA či Express Card (pro notebooky) nebo jako periferní zařízení, které se k počítači připojuje pomocí sběrnice SCSI, USB, sériového nebo paralelního portu apod. (viz obr. 1, 2). Charakteristiky sběrnice jsou následující:

- Ke sběrnici lze připojit maximálně 15 zařízení. Zapnuté by měly být min. dvě třetiny připojených zařízení.
- Maximální délka kabeláže je 20 m. Mezi dvěma zařízeními je maximální délka kabelu 4 m, průměrná délka asi 2 m.
- Kabely jsou zakončeny oboustrannými konektory s 24 špičkami, umožňující propojit zařízení lineárně nebo do hvězdy.
- Rychlost přenosu je dána délkou kabeláže, počtem připojených zařízení apod., při komunikaci s více zařízeními rychlostí reakce nejpomalejšího zařízení. Může dosáhnout až 7.7 MBs^{-1} v případě zařízení HS488.
- Signály sběrnice používají negativní TTL logiku. Logické úrovni 0 tedy odpovídá napětí $U \geq 2,0 \text{ V}$ logické úrovni 1 $U \leq 0,8 \text{ V}$.



Obrázek 2: Různé možnosti doplnění rozhraní GPIB do systému.

Každé zařízení, včetně rozhraní GPIB, má přidělenou jedinečnou adresu, která se skládá z primární adresy, jež je povinná, a volitelné sekundární adresy. Primární adresa je číslo v rozmezí 0 . . . 30, samotné rozhraní má obvykle primární adresu nulovou. Primární adresa měřicího přístroje je nastavena při výrobě, změnu lze provádět programově nebo přes ovládací prvek na měřicím přístroji.

Zařízení mohou podle své povahy v systému hrát celkem tři role: roli mluvčího, posluchače a ovladače. Mluvčí vysílá na sběrnici data, posluchač data ze sběrnice přijímá. Ovladač řídí přenos dat posíláním příkazů ostatním zařízením, adresuje zařízení a povoluje mluvčímu vysílat. Např. počítač je typicky ovladač, mluvčí i posluchač, měřicí přístroj posluchač (přijímá příkazy pro svou konfiguraci) a mluvčí (vysílá naměřená data). V systému může být více ovladačů i mluvčích, ale vždy jen jeden ovladač a jeden mluvčí je aktivní.

Sběrnice systému je tvořena celkem 16 signálovými linkami, 7 zemnicími a jednou stínící linkou. Signálové linky lze rozdělit do tří skupin: datové linky (8), linky řízení přenosu dat (3) a linky řízení rozhraní (5). Jejich význam shrnuje tabulka 1.

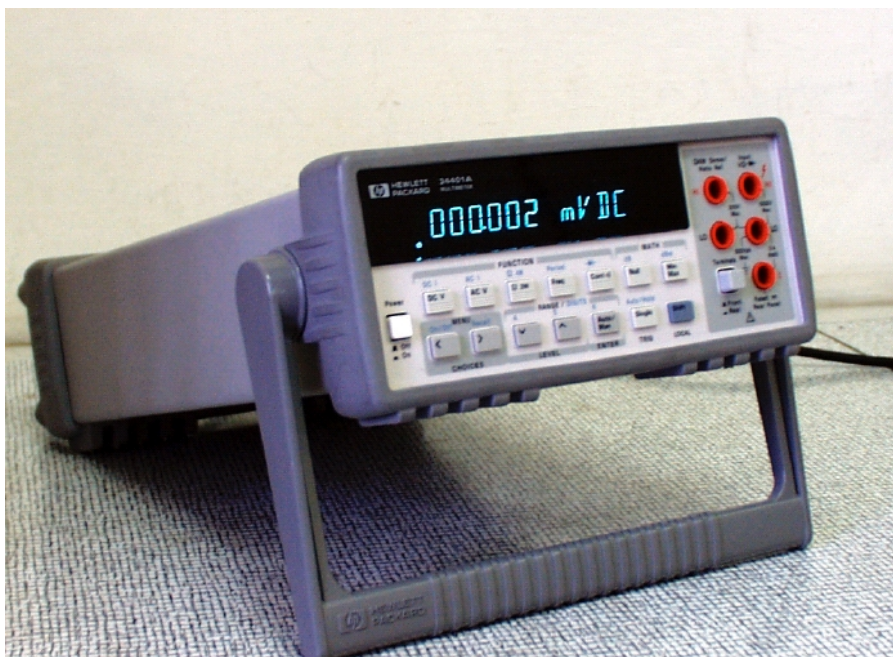
Přenos dat je asynchronní, přijetí dat se oznamuje pomocí linek řízení přenosu dat. Před přenosem dat je na lince NRFD logická úroveň 0 (posluchači připraveni), na lince NDAC logická úroveň 1 (data nepřijata). Mluvčí tedy na datovou sběrnici umístí data a nastaví linku DAV na logickou úroveň 1 (data jsou platná). Posluchač, který data přijme jako první, nastaví linku NRFD na logickou úroveň 1 (nepřipraven na další data) a linku NDAC na logickou úroveň 0 (data přijata). Protože se provádí logický součet od všech posluchačů, bude na linkách NRFD a NDAC logická úroveň 1. Logická úroveň 1 na lince NRFD je signál pro mluvčího, aby dále nevysílal. Teprve po příjmu posledního posluchače se na lince NDAC objeví logická úroveň 0, což je signál, aby mluvčí zrušil platnost dat. Je-li na lince DAV logická úroveň 0, posluchači mohou linky NRFD a NDAC nastavit do výchozího stavu a připravit se tak na přenos dalšího bajtu.

2 Multimetr HP 34401A

Multimetr HP 34401A (viz obr. 3) je digitální měřicí přístroj firmy Hewlett-Packard. K počítači může být připojen přes sériové rozhraní V.24 (RS 232) nebo přes rozhraní GPIB (IEEE 488.2). Na rozdíl

Datové linky	
DIO1–DIO8	<i>Data Input Output</i> Datová sběrnice, linky slouží pro přenos dat a příkazů v obou směrech.
Linky řízení přenosu dat	
DAV	<i>data valid</i> Mluvčí linkou označuje, že data vyslaná na sběrnici jsou platná.
NRFD	<i>not ready for data</i> Posluchač je nepřipraven přijímat data, při více posluchačích se provádí logický součet od všech posluchačů.
NDAC	<i>not data accepted</i> Posluchač linkou oznamuje, že data nebyla přijata. Přijme-li data, nastaví tuto linku na logickou úroveň 0 a mluvčí zruší platnost dat (nastaví DAV na logickou úroveň 0). Při více posluchačích se provádí logický součet signálů od všech posluchačů.
Linky řízení rozhraní	
ATN	<i>attention</i> Ovladač touto linkou určuje význam údajů na datových vodičích – logická úroveň 1 znamená, že na datových vodičích je příkaz GPIB nebo adresa GPIB pro ovládání rozhraní, logická úroveň 0 znamená přítomnost příkazové zprávy pro přístroj.
IFC	<i>interface clear</i> Inicializace sběrnice systémovým ovladačem.
SRQ	<i>service request</i> Zařízení žádá o obsluhu ovladačem, ovladač pro identifikaci použije linku EOI.
REN	<i>remote enable</i> Ovladač linkou přepíná zařízení do režimu dálkového ovládní.
EOI	<i>end or identify</i> Linku používá mluvčí k oznámení, že vysílá poslední bajt zprávy, nebo ovladač k výzvě, aby zařízení, které žádá o obsluhu aktivací linky SRQ, vyslalo na datovou sběrnici svoji adresu.

Tabulka 1: Signálové linky sběrnice GPIB



Obrázek 3: Multimetr HP 34401A

od jednoduchých multimetrů M 3850, Protek-506, UT-70B apod. je multimetr HP 34401A vybaven interpretem jazyka SCPI. Obě rozhraní lze tedy používat nejen k jednoduchému získávání hodnot měřených veličin, ale i k poměrně detailnímu nastavení přístroje.

Multimetrem měřené veličiny udává tabulka 2. Ekvivalent SCPI lze dosadit do části <function>

Veličina	Ekvivalent SCPI
stejnoseměrné napětí	VOLTage:DC
relativní stejnosměrné napětí	VOLTage:DC:RATio
střídavé napětí	VOLTage:AC
stejnoseměrný proud	CURRent:DC
střídavý proud	CURRent:AC
elektrický odpor (2 vodiče)	RESistance
elektrický odpor (4 vodiče)	FRESistance
test propojení	CONTinuity
frekvence	FREQuency
perioda	PERiod
test diod	DIODE

Tabulka 2: Veličiny měřené multimetrem HP 34401A

příkazů SCPI:

- MEASure:<function>? <parameters> změní nastavenou veličinu,
- CONFigure:<function> <parameters> nastaví veličinu. Ke změření je zapotřebí použít např. příkaz Read?.













3 Programování sběrnice GPIB v LabView

V této úloze se zaměříme na jednoduché zprovoznění komunikace s multimetrem HP 34401A přes GPIB v prostředí LabView 2009. Přehledy příkazů (textových řetězců) pro multimetr, popis různých

možností, jak ovládat GPIB z LabView (např. standard 488.2) nebo z Borland Delphi a další informace jsou součástí návodů, které jsou k dispozici v praktiku a na fyzikálním ftp serveru.¹

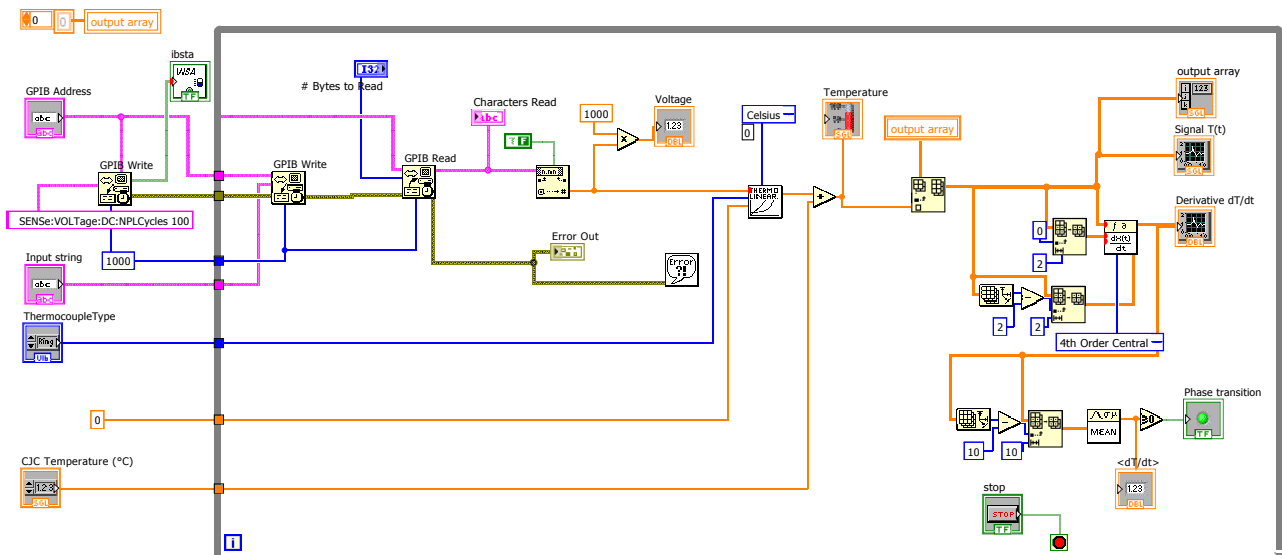
Výhodu automatizace měření budeme demonstrovat na studiu fázového přechodu krystalické látky. V LabView vytvoříme program, který bude zaznamenávat vývoj teploty chlazenou krystalickou látkou (naftalenu či octanu sodného) po roztátí. K měření teploty použijeme termočlávkové sondy, ponořené do roztáté látky a připojené přes adaptér k napětovému vstupu multimetru. Program bude kromě zobrazování naměřených hodnot napětí provádět též převod napětí termočlávkou na měřenou teplotu, automatický výpočet první derivace, vykreslování časových průběhů či detekci fázového přechodu.

Program v LabView obsahuje uzly tří typů: terminály *Controls*, které nám umožňují zadat parametry měření, výkonné uzly, které provádějí operace, a terminály *Indicators*, které výsledky operací zobrazují. My budeme potřebovat zejména tyto uzly:

Uzel	Název	Funkce
	GPIB Address	GPIB adresa (textový řetězec), na které se nachází multimetr (Control)
	GPIB Write	provede zápis specifikovaného řetězce do zařízení GPIB na dané adrese
	GPIB Read	přečte ze zařízení na dané adrese GPIB specifikovaný počet bytů/znaků
	Frac / Exp String To Number	převede textový řetězec na reálné číslo
	Convert Thermocouple Reading	pro specifikovaný typ termočlávkou převede měřené napětí na teplotu
	NI_AALPro.lvlib: Derivative x(t)	nad polem hodnot provede numerické derivování vybranou metodou
	Insert Into Array	vloží do proměnné typu pole další položku
	Ibsta Status word	stavové slovo popisující stav sběrnice (Indicator)
	NI_AALBase.lvlib: Mean	vypočte pro pole hodnot jejich aritmetický průměr
	Array Subset	vybere z pole specifikovaný úsek položek
	Array Size	vrátí velikost (počet prvků) specifikovaného pole
	Temperature	grafický teploměr pro zobrazení změřené teploty (Indicator)

Celý „kód“ programu, tzv. blokový diagram, je zobrazen na obr. 4, běžící program se záznamem měření na obr. 5. Při postačujícím standardním nastavení GPIB sběrnice není nutné použít uzel Initialization, inicializace se provede s prvním voláním GPIB Write. Uzel GPIB Write zapisuje do zařízení GPIB na zadané adrese, v našem případě do multimetru na adrese „7“, textový řetězec, příkaz. Tento příkaz má u multimetru HP 34401A formát daný jazykem SCPI a dovoluje detailní nastavení multimetru. Uzel GPIB Write je v programu použit dvakrát. Poprvé je jím zaslán příkaz „SENSe:VOLTage:DC:NPLCycles 100“, který po spuštění programu nastaví kvalitnější A/D převod a s tím související i přesnost měření, podruhé příkaz „MEASure:VOLTage:DC? 0.1,0.000001“, který nastaví a spustí měření stejnosměrného napětí na rozsahu 0.1 V s rozlišením 1 μ V. Tento příkaz je zaslán opakovaně v cyklu while, vymezeném šedým rámcem.

¹Na adrese ftp://ftp.muni.cz/pub/muni.cz/physics/education.



Obrázek 4: Blokový diagram programu Fázová změna.

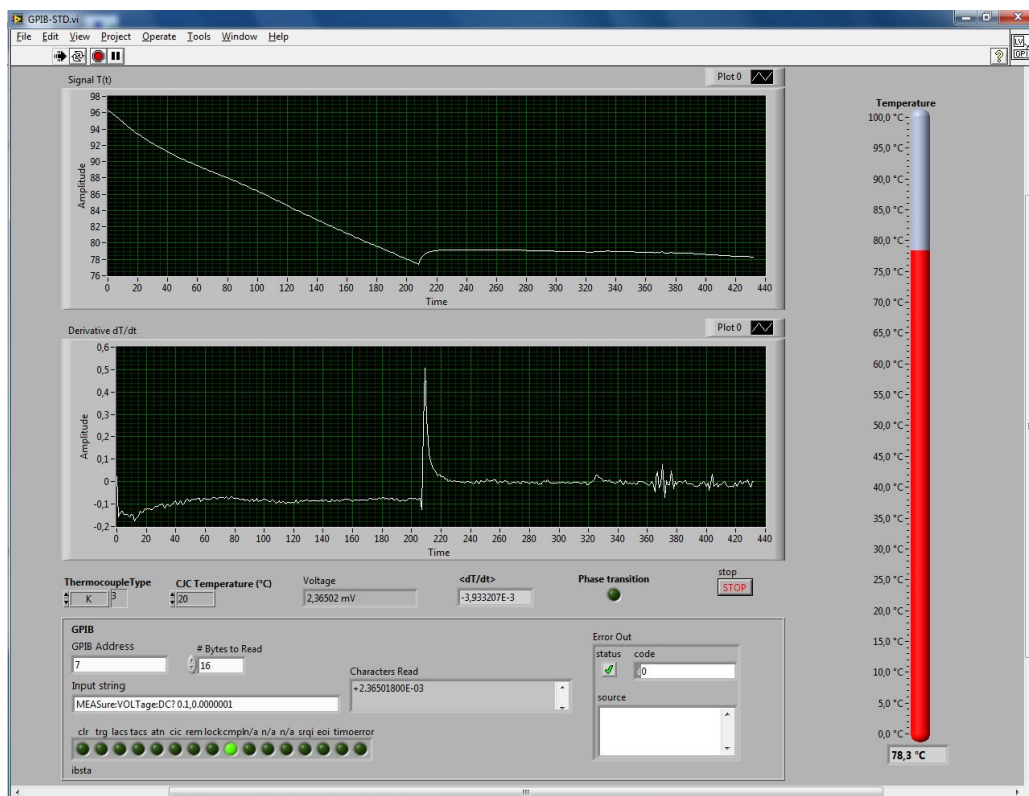
Po změření napětí textový řetězec 16 znaků s naměřenou hodnotou zůstává ve výstupní paměti multimetru. Z multimetru ho přečteme uzlem GPIB Read a uzlem `Frac / Exp String To Number` jej převedeme na reálné číslo. K převodu na teplotu je využit uzel `Convert Thermocouple Reading`, který vyžaduje přivedení informace o typu termočlánku. Po opravě o teplotu tzv. studeného konce je hodnota zobrazena uzlem `Indicator` v podobě teploměru a přidána do pole již změřených hodnot `Output array`.

Rozšířené pole je směřováno do několika uzlů. Je uloženo zpátky do proměnné `Output array`, je zobrazeno uzlem `Signal T(t)` typu `Graph`, přivedeno do uzlu počítající derivaci a jsou z něj vybrány dvě první a poslední položky pro nastavení počátečních podmínek pro výpočet derivace. Derivované pole je opět zobrazeno v grafu `Derivative dT/dt`, navíc je z něj vybráno posledních deset položek. Jejich aritmetický průměr je použit pro indikaci fázového přechodu. Zatímco při chládnutí je hodnota aritmetického průměru derivace záporná, při podchlazení a následném nastartování krystalizace průměr roste do kladných hodnot (viz záznam měření při chládnutí naftalenu na obr. 5).

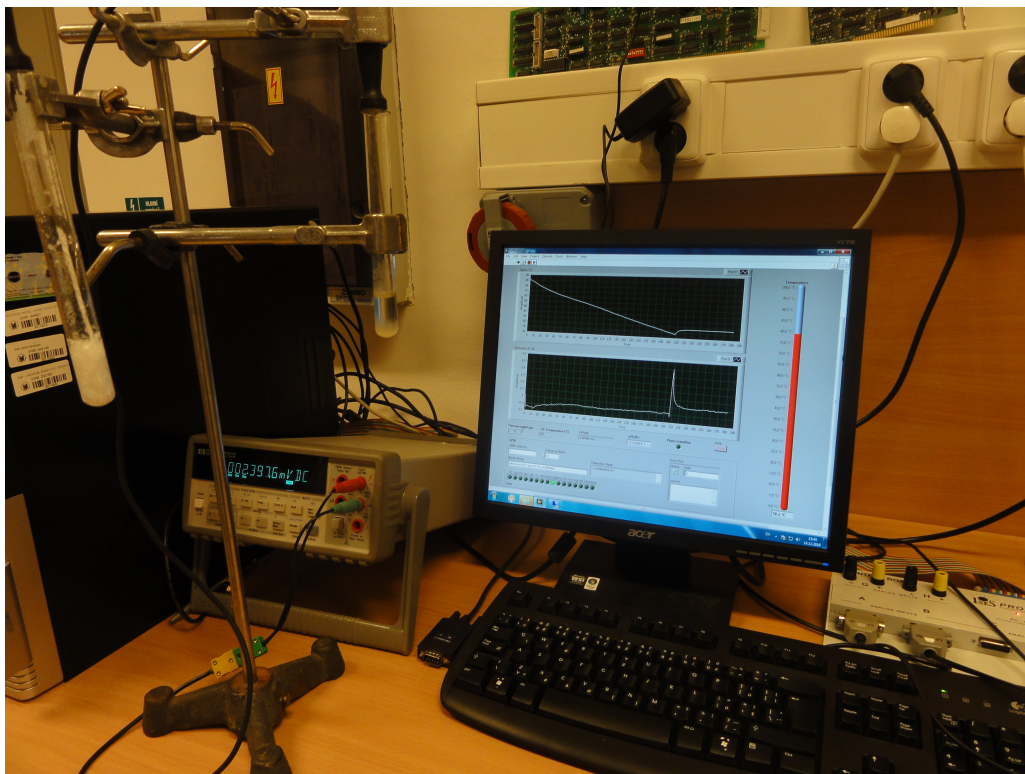
Je zřejmé, že uvedený algoritmus není efektivní. Např. nastavení rozsahu i rozlišení multimetru v příkazu „Measure“ lze provést jen jednou příkazem „Configure“. Také při přidání prvku do pole je vždy přepočítávána derivace celého pole. Příklad slouží spíše pro demonstraci, jak je možné menší počet měření pomocí LabView automaticky zpracovat.

Úkoly

1. Prostudujte si uvedený program. Čím je dán interval mezi měřeními? Je konstantní? Kdy bude program ukončen?
2. V grafech je na vodorovnou osu vynášeno pořadové číslo měření. Modifikujte program tak, aby na vodorovné ose byl skutečně čas.
3. Prostudujte si poskytované metody pro výpočet derivace. Změňte použitou metodu čtvrtého řádu na jednodušší metodu druhého řádu. Jak se změní počáteční podmínky?
4. Pokuste se uvedený program optimalizovat. Rozdělte např. příkaz „Measure“ do části „Configure“ a „Read“.



Obrázek 5: Přední panel programu Fázová změna se záznamem měření. Horní graf znázorňuje časový průběh teploty, dolní časový průběh její derivace.



Obrázek 6: Pohled na experiment. Multimetr HP 34401A, počítač s běžícím program v LabView. V přední zkumavka s naftalenem.