

## Úloha č. 4: Automatizace měření

jarní semestr 2022

Automatizace měření pomocí výpočetní techniky patří mezi moderní fyzikální metody měření v laboratorní i průmyslové praxi. Nejčastěji měřenou fyzikální veličinou je elektrické napětí. Ostatní fyzikální veličiny, i neelektrické, se většinou na měření elektrického napětí převádí. Avšak současné počítače, dříve též označované jako číslicové či digitální, nejsou přímo na měření elektrického napětí vybaveny. Nezpracovávají totiž přímo fyzikální veličiny, ale čísla (jakkoli elektrickým napětím kódované). Existují proto speciální obvody, tzv. převodníky, které umí převádět mezi číslem (např. určitou hodnotou fyzikální veličiny v příslušných jednotkách) a skutečnou realizací (např. el. signálem o napětí 1,5 V).

## 1 Reprezentace čísel v počítači

Číselná hodnota je v současných počítačích ukládána a zpracovávána ve dvojkové (binární) soustavě. To znamená, že číslo je možné zapsat pouze pomocí dvou číslic, 0 a 1. Dvojkové číslici se také říká bit (*binary digit*). Srovnáme tyto příklady (index znamená vyjádření v příslušné soustavě):

$$\begin{aligned}235_{10} &= 2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0 \\110_2 &= 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 6_{10}.\end{aligned}$$

Číslo  $110_2$  je tedy zkráceným zápisem, který vyjadřuje počet různých řádů se základem 2. Mezi čísla vyjádřenými v různých číselných soustavách je možné samozřejmě převádět. Převod z dvojkové do desítkové soustavy je naznačen výše. Pro převod z desítkové do dvojkové soustavy se používá následující algoritmus:

1. Převáděné číslo zapíšeme do prvního řádku tabulky vlevo. Do stejného řádku vpravo zapíšeme dvojkou.
2. Číslo vlevo vydělíme dvěma, celou část zapíšeme o řádek níže pod něj a celočíselný zbytek po dělení (dělíme dvěma, zbytkem tedy může být nula nebo jednička) zapíšeme opět na nižší řádek vpravo.
3. Opakujeme krok 2., až dospějeme k dvojici 0, 0. Potom zbytky přečteme v obráceném pořadí.

235	2
117	1
58	1
29	0
14	1
7	0
3	1
1	1
0	1
0	0

Pro kontrolu spočteme opět vyjádření v desítné soustavě:

$$\begin{aligned} 11101011_2 &= 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = \\ &= 128 + 64 + 32 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1 = \\ &= 235_{10}. \end{aligned}$$

Hodnota binární číslice je v počítači reprezentována různým způsobem. Příkladem je logika TTL, při které je nula reprezentována napětím v intervalu  $0 - 0,8$  V a jednička napětím v rozsahu  $2,5 - 5$  V.

## Úkoly

1. Najděte ekvivalenty čísel v dvojkové či desítkové soustavě ( $255_{10}$ ,  $1101_2$ ,  $2048_{10}$ ).
2. Jaké největší celé kladné číslo lze uložit do 1 bajtu? (byte = B = 8 bit). Předpokládá se, že nejmenší hodnotou je nula.

## 2 Digitálně-analogový převodník (D/A převodník)

Jak již bylo uvedeno výše, mezi skutečnou fyzikální veličinou (tzv. analogovou veličinou, která spojitě nabývá libovolných reálných hodnot) a jejím číselným vyjádřením je nutné převádět pomocí převodníku. Digitálně-analogový převodník (D/A) dovoluje převádět číslo na analogovou veličinu, analogově-digitální převodník (A/D) převádí veličinu na číslo. D/A převodník tedy veličinu generuje (převodník na napětí lze tedy použít jako regulovatelný zdroj), A/D převodník naopak veličinu měří. Důležitým parametrem převodníku je rozlišení převodníku, neboli počet bitů čísla, které je možné do převodníku poslat (u D/A) nebo naopak z něj přečíst (u A/D).

### 2.1 Princip činnosti D/A převodníku

Jednoduchý  $n$ -bitový D/A převodník je zobrazen na obrázku 1. Vstupem jsou hodnoty bitů, výstupem napětí  $U$ . Napětí zdroje je  $U_z$ . Pro výstupní napětí použitého operačního zesilovače OZ platí

$$U = \frac{R_v}{R_c} \cdot U_z$$

Hodnota odporu  $R_c$  je měněna podle dodaných bitů pomocí spínačů  $S_i$  (např. tranzistorů), které zapojují jednotlivé větve paralelně zapojených rezistorů. Např. pro 4bitový převodník ( $n = 4$ ) a číslo 1 bude výsledné napětí

$$U = \frac{R_v}{8R} \cdot U_z.$$

Protože u paralelního zapojení rezistorů se sčítají převrácené hodnoty jejich odporů, v případě čísla 3 bude výsledné napětí

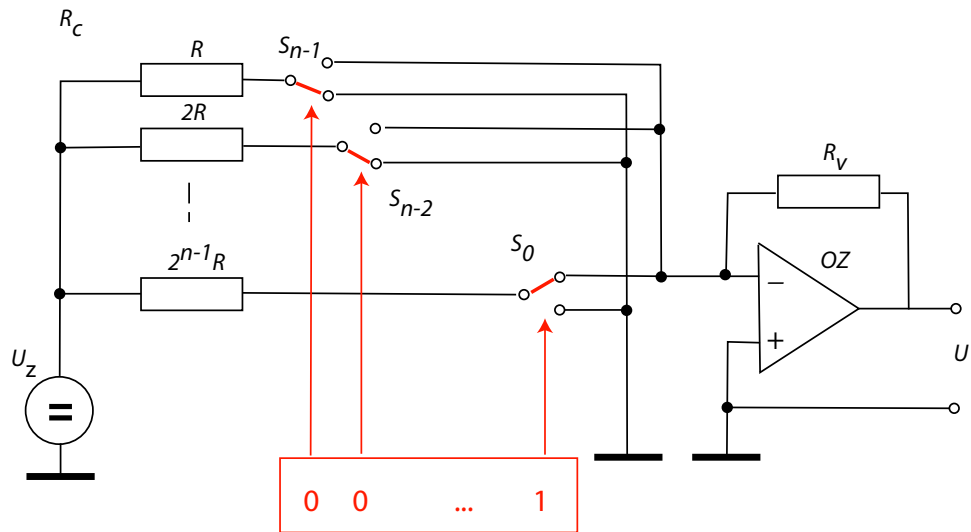
$$U = 3 \frac{R_v}{8R} \cdot U_z,$$

tedy trojnásobné ve srovnání s napětím pro číslo 1. Převodník na obr. 1 je tzv. převodník s váhovými rezistory. V praxi se ovšem používají převodníky různých typů.

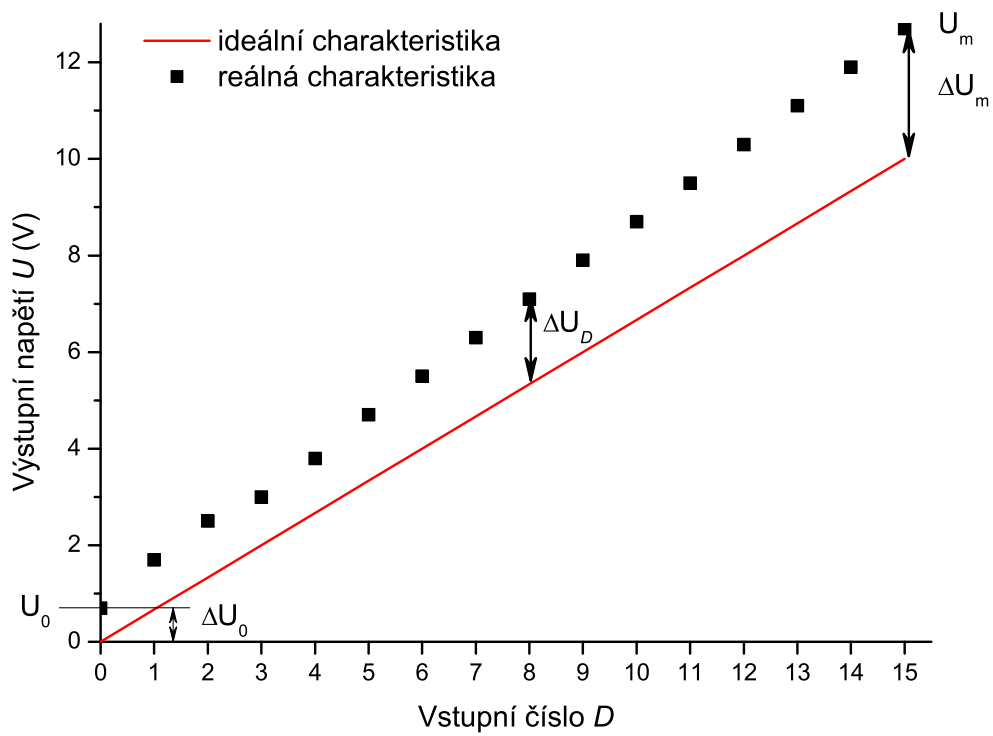
### 2.2 Charakteristiky převodníku

Statické vlastnosti převodníku charakterizuje převodní charakteristika (viz obr. 2). Důležitým parametrem převodníku je ideální kvantizační krok D/A převodníku

$$U_q = \frac{U_r}{2^n - 1}$$



Obrázek 1: D/A převodník s váhovými rezistory



Obrázek 2: Převodní charakteristika 4-bitového D/A převodníku



Obrázek 3: Dva D/A převodníky: vlevo profesionální 4-kanálový 16-bitový převodník USB-9263 firmy National Instruments, vpravo jednoduchý osmibitový D/A převodník MDAC-08

kde  $U_r$  je nominální napěťový rozsah převodníku a  $n$  počet bitů převodníku. Z dalších parametrů se zavádí např.

- chyba nuly (ofsetu)

$$\delta_0 = \frac{\Delta U_0}{U_r},$$

- chyba měřítka (zesílení)

$$\delta_m = \frac{\Delta U_m - \Delta U_0}{U_r},$$

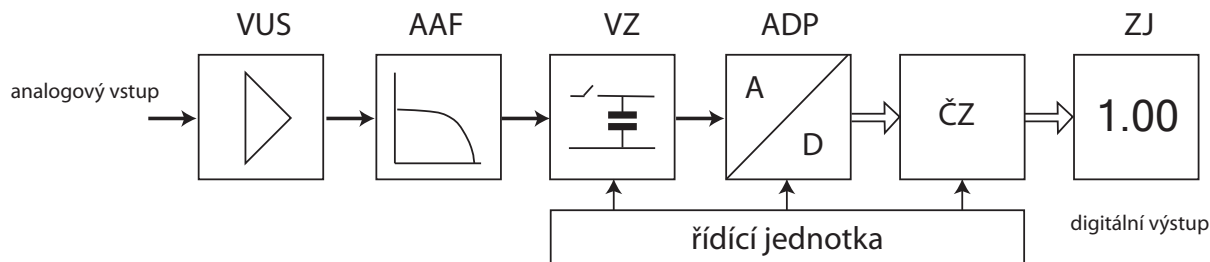
kde  $U_0$  a  $U_m$  jsou minimální a maximální hodnoty napětí reálně nastavitelné na převodníku a  $\Delta U_0$  a  $\Delta U_m$  jejich odchylky od nominálních hodnot. Zpravidla se tato odchylka určuje jako rozdíl hodnoty reálné a hodnoty nominální. Pokud tedy označíme minimální nominální hodnotu jako  $U_{0,n}$  a maximální nominální hodnotu jako  $U_{m,n}$ , tak potom odchylky od nominálních hodnot jsou určeny následovně

$$\begin{aligned}\Delta U_0 &= U_0 - U_{0,n} \\ \Delta U_m &= U_m - U_{m,n}\end{aligned}$$

V této úloze jsou k dispozici dva D/A převodníky (viz obrázek 3), čtyřkanálový šestnácti-bitový převodník USB-9263 s typickým nominálním rozsahem  $-10,7\text{ V}$  až  $10,7\text{ V}$  a jednoduchý osmibitový D/A převodník MDAC-08 s nominálním rozsahem  $0\text{ V}$  až  $10\text{ V}$ . Převodník USB-9263 se připojuje přímo k počítači přes rozhraní USB; v úloze se používá pouze nultý kanál. Převodník MDAC-08 je připojen přes digitální výstup multifunkčního USB modulu USB-6008. Tento převodník navíc vyžaduje stabilizovaný zdroj napětí  $12\text{ V}$ . Při zapojení je nutné dávat pozor na správnou polaritu zapojení zdroje. Na převodníku je umístěno osm barevných LED diod, které svým stavem (svítí/nesvítí) vyjadřují v binárním tvaru číslo, které je z počítače vystaveno na vodičích a které tedy převodník převádí na napětí. Generované napětí je možné měřit na předních svorkách převodníku.

### 3 Digitální měřicí přístroj, A/D převodník

Digitální přístroj je elektronický systém, který provádí převod měřené analogové veličiny na digitální signál. Převod spojitého analogového signálu na digitální proud čísel vyžaduje provádění:



Obrázek 4: Obecné schéma digitálního přístroje. VUS – vstupní úprava signálu, AAF – antialiasingový filtr, VZ – vzorkovač, ADP – analogově digitální převodník, ČZ – číslicové zpracování, ZJ – zobrazovací jednotka

- vzorkování signálu v čase – odběr vzorku vstupního signálu v určitých okamžicích daných vzorkovacími impulsy,
- kvantování vzorků v hodnotě – zaokrouhlení odebraného vzorku na hodnotu nejbližší tzv. kvantovací úrovně,
- kódování – vyjádření kvantovaných hodnot určitým kódem (např. nezáporným celým číslem).

Blokové schéma digitálního přístroje je na obrázku 4. Analogový signál může být nejprve vhodně upraven (např. zesílen) v bloku vstupní úpravy signálu (VUS). Antialiasingový filtr (AAF) zajistí korektní záznam rychlých periodických dějů. Je to v principu dolnofrekvenční propust, která ze signálu odstraňuje frekvence vyšší než je polovina vzorkovací frekvence. Vzorkovač (VZ) provede odběr vzorku analogového signálu a zajistí jeho neměnnost během převodu. Samotný převod (kvantování a kódování) provede analogově/digitální převodník (A/D převodník, ADP). Výsledné číslo je zpracováno v bloku číslicového zpracování (ČZ), např. přepočteno podle kalibrace přístroje, a zobrazeno na displeji.

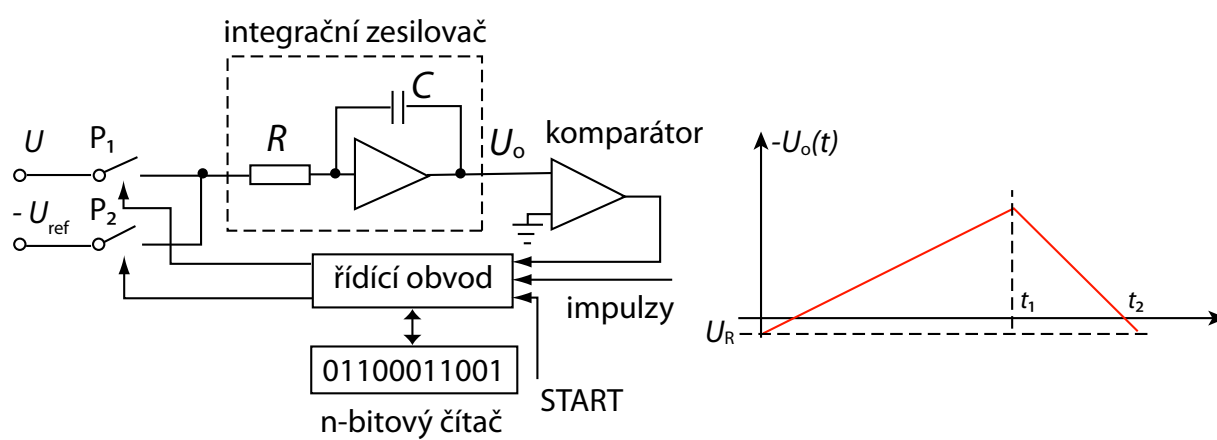
Protože digitální měřicí přístroje pracují s číselnou reprezentací měřené hodnoty, je poměrně snadné je doplnit o obvody, které zajistí přenesení naměřené hodnoty do počítače po některém ze standardních rozhraní (RS-232, USB, GPIB, atd.). Digitální přístroje lze proto často ovládat přímo z počítače. Případně jsou určeny pouze pro práci s počítačem, který pomocí obslužného softwaru využívají pro zobrazování, záznam či další zpracování dat.

Mezi digitální přístroje řadíme např. univerzální digitální multimetry, digitální osciloskopy nebo měřicí karty, které se připojují přímo na sběrnici počítače nebo přes standardní rozhraní. Významnou vlastností digitálních přístrojů je vysoký vnitřní odpor, který zajišťuje velmi malý odběr elektrického proudu při vlastním měření.

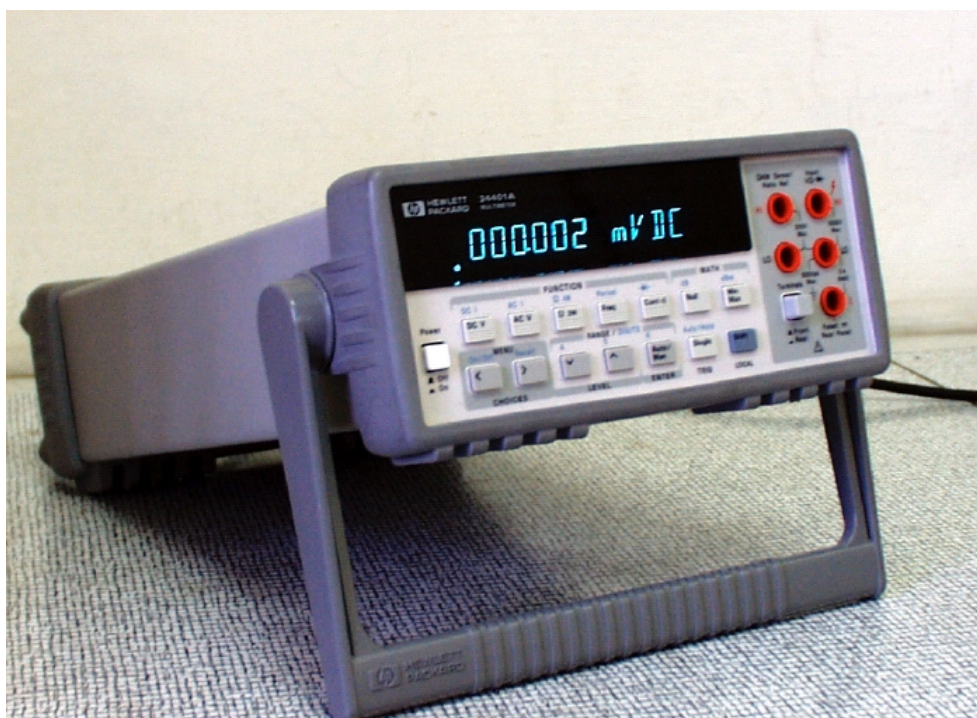
### 3.1 A/D převodník

Schéma jednoduchého A/D převodníku s dvojitou integrací, který je často součástí multimetrů a převádí problém měření napětí na měření času, je na obr. 5. Na vstup integračního zesilovače je nejprve spínačem  $P_1$  připojeno měřené napětí  $U$ . To je po určitou dobu  $t_1$  integrováno, napětí na výstupu  $U_o$  narůstá. Poté je vstup odpojen a na vstup integrátoru je přes spínač  $P_2$  přivedeno referenční napětí opačné polarity. Klesající napětí na výstupu  $U_o$  je porovnáváno vůči nule komparátorem. Čas, který uplyne od začátku druhé integrace do přechodu  $U_o$  přes nulové napětí, je úměrný hodnotě vstupního napětí. K měření času slouží generátor impulsů a čítač.

V této úloze budete postupně pracovat s dvěma digitálními přístroji: s multimetrem HP34401A (viz obrázek 6) a měřicí kartou systému ISES (viz níže). Multimetr je k počítači připojen přes speciální rozhraní GPIB. Počítač lze potom použít nejen k jednoduchému získávání hodnot měřených veličin, ale i k poměrně detailnímu nastavení přístroje.



Obrázek 5: A/D převodník s dvojitou integrací.



Obrázek 6: Multimetr HP 34401A.

## Úkoly

1. Určete číselný rozsah osmibitového a šestnáctibitového D/A převodníku. Víte přitom, že do převodníku je možné zadávat pouze celá nezáporná čísla.
2. Zadávejte do převodníku MDAC-08 taková čísla, aby svítily  
a) všechny diody, b) třetí zleva, c) všechny liché, d) žádná.  
Použijte program *TestDA*.
3. Určete reálný napěťový rozsah a kvantizační krok D/A převodníku. Porovnejte šestnáctibitový modul USB-9263 a osmibitový převodník připojený přes digitální výstup modulu USB-6008. K přesnému měření výstupního napětí použijte multimetr HP 34401A, připojený k počítači přes rozhraní GPIB. Pro ruční zadávání libovolných čísel do D/A převodníků je připraven program *TestDA*. Z naměřených závislostí stanovte chybu nuly a chybu zesílení.
4. Nastavte na převodníku USB-9263 napětí 3,2 V. Potřebné číslo předem odhadněte výpočtem. Použijte program *TestDA*.

Pro zadávání čísel můžete použít program *TestDA*, který zadané číslo posílá jak do šestnáctibitového převodníku USB-9263, tak přes modul USB-6008 do osmibitového převodníku MDAC08. Výstup z právě zkoumaného převodníku je samozřejmě nutné připojit k napěťovému vstupu multimetru HP 34401A. Program umožňuje i záznam hodnoty měřené multimetrem, vždy je navíc možné číst měřenou hodnotu na displeji multimetru.

## 4 Počítačová analýza a syntéza zvuku

Zatímco hluk či šum má neperiodický průběh, hudební tóny, např. samohlásky, jsou periodické zvuky. Ačkoliv obecně nemají harmonický časový průběh, podle Fourierovy teorie je lze považovat za tóny složené z více harmonických (jednoduchých) tónů. Matematicky zformulováno, libovolnou periodickou funkci lze zapsat jako nekonečnou Fourierovu řadu složenou z lineárních kombinací funkcí sinus a kosinus, jejichž úhlové frekvence  $\omega_n$  jsou celistvým násobkem jisté základní úhlové frekvence  $\omega$ :

$$g(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(\omega_n t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin(\omega_n t)$$

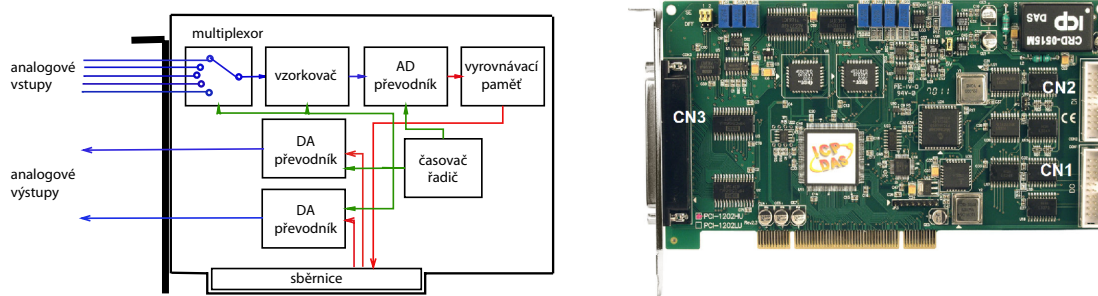
$$\omega_n = n\omega, \quad n \in \mathbf{N}$$

Základní frekvence  $\omega$  (příp.  $f$ ) udává objektivní výšku tónu a je určena periodou výsledné funkce  $g(t)$ :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad f = \frac{1}{T}.$$

Ze zkušenosti víme, že zvuky stejné výšky (frekvence) vydávané různými nástroji znějí odlišně. Právě tuto odlišnost, tzv. barvu zvuku, popisují koeficienty  $a_n$ ,  $b_n$ , které určují, jak jsou jednoduché tóny o vyšších frekvencích (tzv. vyšší harmonické) ve složeném tónu zastoupeny. Známe-li tyto koeficienty, můžeme zvuk, který popisují, uměle syntetizovat sečtením několika prvních členů Fourierovy řady a přehráním výsledku.

V praktiku jsou připraveny programy *Analýza* a *Syntéza*. Program *Analýza* provádí Fourierovu analýzu zvukového signálu z mikrofonu připojeného ke zvukové kartě. Vykresluje frekvenční spektrum signálu a poskytuje možnost odečíst hodnoty koeficientů řady. Program *Syntéza* slouží k vyrábění zvukového signálu podle zadaných koeficientů.



Obrázek 7: Jednoduché schéma měřicí karty a skutečná realizace (karta ICP DAS PCI-1202LU)

## Úkoly

1. Studujte frekvenční spektra různých zdrojů zvuku (ladičky, lidského hlasu, ...). Z grafu odečtěte na ose y hodnoty několika prvních frekvencí (koeficienty Fourierovy řady).
2. S pomocí stanovených koeficientů syntetizujte tento zvuk. Porovnejte s originálem.
3. Ověřte, že platí Ohmův akustický zákon, který říká, že lidské ucho vnímá jednotlivé harmonické tóny a nikoliv jejich výsledný součet. Sluchem tedy nerozlišíme dva složené tóny (dvě řady), u nichž jsou jednotlivé harmonické tóny (členy řady) navzájem fázově posunuty a které se tedy liší pouze vzhledem k výslednému časovému průběhu, zatímco relativní zastoupení jednotlivých jednoduchých tónů zůstává stejné.

## 5 Měřicí systém ISES

Mezi digitální měřicí přístroje patří i rozšiřující karty do sběrnice počítače. Na využití měřicí karty je založen i školní měřicí systém ISES.

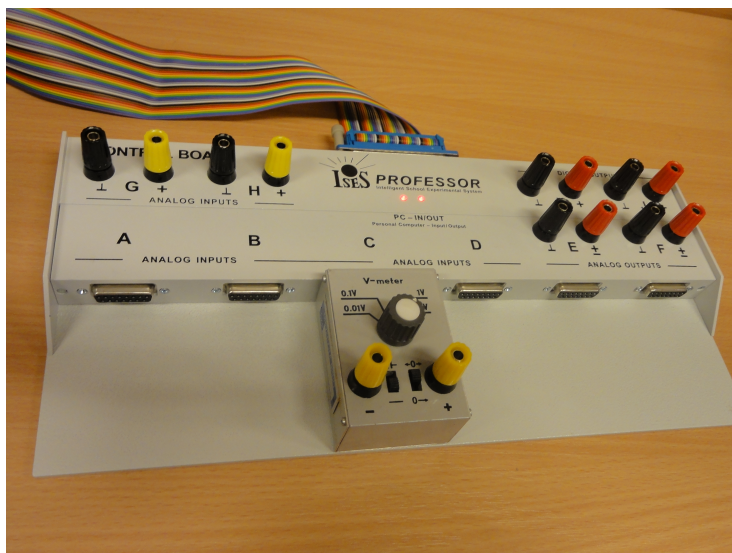
### 5.1 Charakteristika měřicího systému ISES

Školní měřicí systém ISES je tvořen měřicí kartou, ovládacím programem, konektorovým panelem a malými moduly pro měření fyzikálních veličin, které se připojují ke konektorovému panelu. Měřicích karet používaných systémem je více druhů, pro operační systém Windows XP a vyšší je používána PCI karta ICP DAS PCI-1202LU (viz obrázek 7) s následujícími parametry:

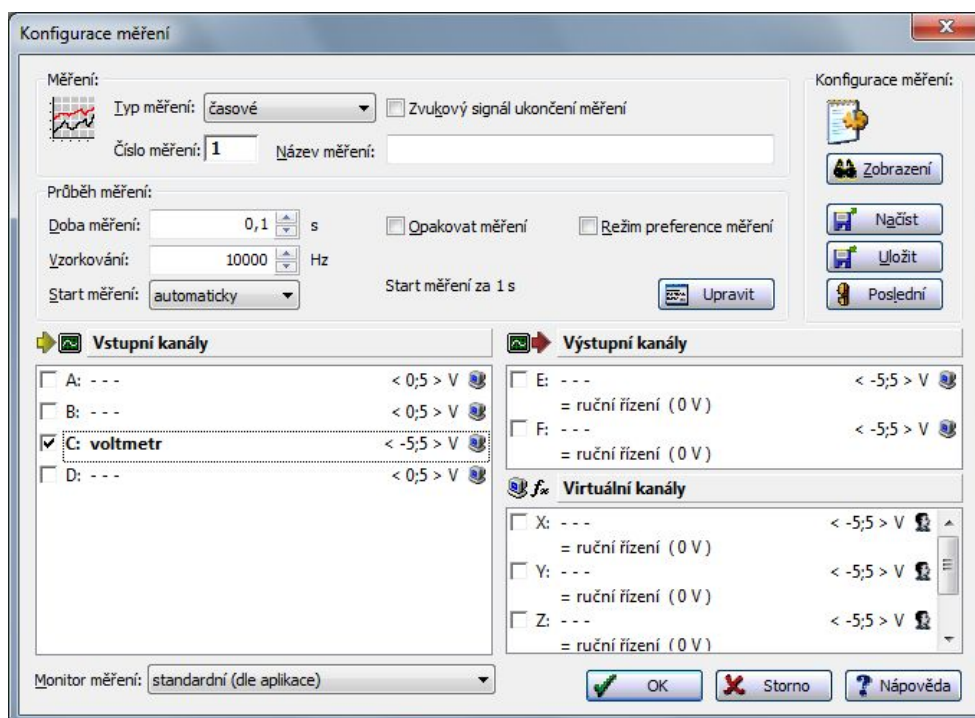
- 32/16 analogových vstupů do s rozsahem do 5 V (10 V),
- 2 analogové výstupy,
- 16 digitálních vstupů/výstupů,
- dvanáctibitové A/D a D/A převodníky,
- maximální vzorkovací frekvence je 110 kHz.

Konektorový panel systému ISES (viz obrázek 8) má z boční strany vyvedeny 4 napěťové analogové vstupy A, B, C, D, ke kterým se připojují moduly pro měření různých fyz. veličin, převádějící tyto veličiny na napětí. Např. na obrázku 8 je na vstup C připojen modul voltmetr. Moduly systém dokáže rozpoznat, a je tedy schopen měřená napětí správně interpretovat a zobrazovat hodnoty přímo v jednotkách měřené veličiny. (Např. při měření teploty se zobrazuje teplota ve °C a nikoliv ve voltech.) Další analogové vstupy G, H jsou sice vyvedeny, v programu ISE-SWin32 však nejsou zpřístupněny. Panel navíc obsahuje dva analogové výstupy (E, F) a digitální výstupy (I, J).





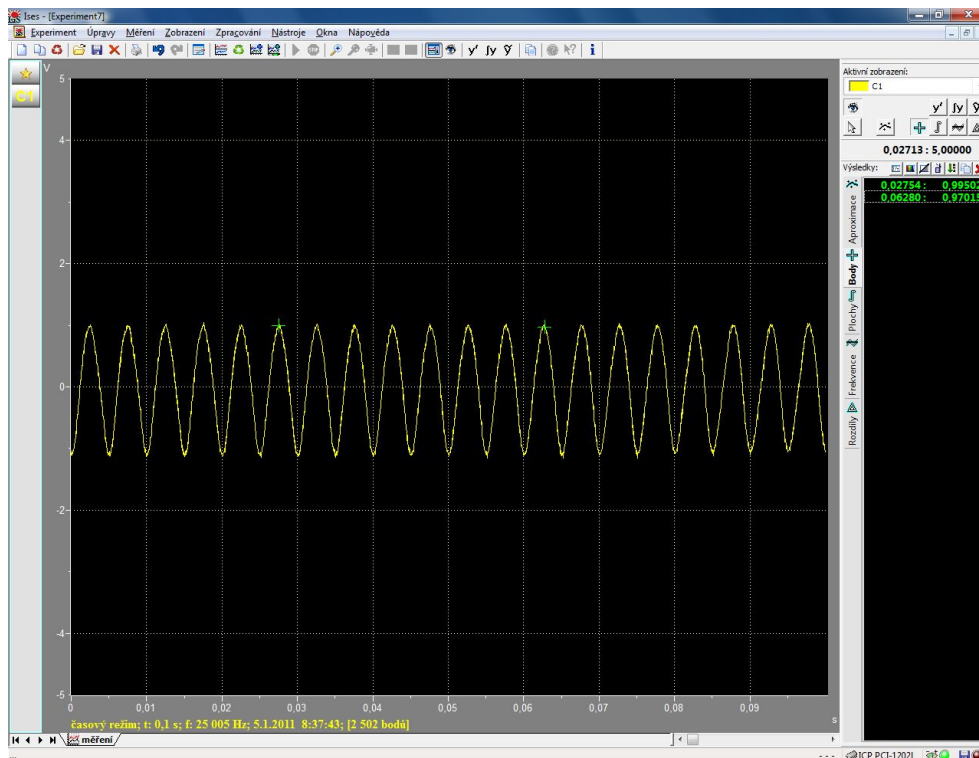
Obrázek 8: Konektorový panel ISES Professor.



Obrázek 9: Nastavení měření v programu ISESWin32. Všimněte si zejména automatické detekce modulů a nastavení vzorkovací frekvence.

Modulů dodávaných se soupravou je celá řada, mezi nejběžnější patří modul voltmetr, ampérmetr, ohmmetr, relé, siloměr, teploměr, tlakoměr, ukazatel polohy, optická závora, mikrofon, ukazatel tepu srdce, modul EKG atd.

Podstatnou částí systému je program ISESWin32. Při nastavení experimentu (viz obrázek 9) je zapotřebí nastavit zejména dobu měření, vzorkovací frekvenci a kanály s moduly, na nichž má měření probíhat. Dále je možné konfigurovat analogové výstupy, způsob zobrazení dat apod.



Obrázek 10: Okno programu ISESWin32 se záznamem měření. V pravém bočním panelu je zobrazeno okno, které umožňuje provést odečet hodnot z grafu. V prvním sloupci se vypisuje horizontální souřadnice (v tomto případě čas), v druhém vertikální souřadnice kurzoru.

## 5.2 Pokusy s ISESem

### 5.2.1 Matematické kyvadlo

Pro periodu matematického kyvadla platí

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

kde  $l$  je délka závěsu a  $g$  je tíhové zrychlení. Stanovíme-li tedy periodu kmitání kyvadla a jeho délku, můžeme určit tíhové zrychlení  $g$ . Periodu určíme tak, že v programu pro ISES zaznamenejme několik průchodů kyvadla přes optickou závoru a v grafu pomocí kurzoru odečteme čas odpovídající několika periodám.

### Úkoly

1. Zaznamenejte pomocí optické závory kmitání kyvadla. Zakrývání závory kyvadlem se projevuje pravoúhlými pulzy. Jaká vzdálenost v grafu na ose  $x$  odpovídá periodě kmitání?
2. Naměřte několikrát vzdálenost 5 – 10 period. Určete periodu kmitání.
3. Pravítkem změřte vícekrát délku závěsu. Zpracujte statisticky toto měření.
4. Určete tíhové zrychlení, odhadněte jeho nejistotu.

### 5.2.2 Těleso na pružině

Zanedbáme-li odpor prostředí a předpokládáme-li lineární závislost velikosti síly pružiny na jejím protažení  $F = k \cdot y$ , závaží o hmotnosti  $m$  zavěšené na pružině o tuhosti  $k$  a uvolněné z maximální výchylky v čase  $t = 0$  kmitá podle vztahu

$$y(t) = A \cos(\omega t),$$

kde  $\omega$  je úhlová (kruhová) frekvence

$$\begin{aligned} \omega &= \sqrt{\frac{k}{m}} \\ T &= \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \end{aligned}$$

K ověření výše uvedených vztahů použijeme moduly siloměr, akcelerometr, příp. detektor polohy. Modul siloměr dokáže měřit (podle nastavení přepínače na něm) přímo sílu v newtonech nebo hmotnost v gramech. (Vysvětlete, jak je to možné.)

### Úkoly

1. Pomocí modulu siloměr stanovte hmotnost tělesa, pomocí modulu siloměr a pravítka určete tuhost pružiny.
2. S využitím naměřených hodnot vypočtěte periodu kmitání.
3. Pomocí modulu siloměr zaznamenejte kmitání oscilátoru. Ze záznamu síly určete periodu a porovnejte ji s vypočtenou hodnotou.

### 5.2.3 Zvuk ladičky

Ke zvukovému záznamu použijeme modul mikrofón. U tohoto měření je důležité vhodně nastavit vzorkovací frekvenci. Platí totiž Shannonův vzorkovací teorém, který říká, že ke ztrátě informace (tj. vlastně ke zkreslení) nedochází, je-li vzorkovací frekvence aspoň dvojnásobkem nejvyšší frekvence obsažené ve spektru zvuku.

### Úkoly

1. Otestujte vliv vzorkovací frekvence na kvalitu záznamu harmonického signálu ladičky. Vzorkovací frekvenci v systému ISES nastavujte na hodnoty 10 kHz, 440 Hz, 400 Hz, 44 Hz.
2. Zaznamenejte zvuk ladičky. Jaký má zvukový signál průběh? Určete jeho periodu a frekvenci. Odpovídá frekvence komornímu a (a1, 440 Hz)?
3. Jakou vzorkovací frekvenci byste použili pro záznam koncertu? A pro záznam lidské řeči? Frekvence sykavek je 8 – 10 kHz.

### 5.2.4 Dvě ladičky, rázy

Složením dvou netlumených vln o frekvencích  $f_1$ ,  $f_2$  a stejné amplitudě dostaneme

$$\begin{aligned} y(x, t) &= y_1(x, t) + y_2(x, t) = A \cdot \sin[2\pi f_1 t + \phi_1(x)] + A \cdot \sin[2\pi f_2 t + \phi_2(x)] = \\ &= 2A \cdot \cos\left[2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} t + \frac{\phi_1(x) - \phi_2(x)}{2}\right] \cdot \sin\left[2\pi \frac{f_1 + f_2}{2} t + \frac{\phi_1(x) + \phi_2(x)}{2}\right] = \\ &= 2A \cdot \cos\left[2\pi \frac{\Delta f}{2} t + \frac{\Delta \phi(x)}{2}\right] \cdot \sin[2\pi \bar{f} t + \bar{\phi}(x)]. \end{aligned}$$

Jsou-li frekvence  $f_1$ ,  $f_2$  velmi blízké, je  $\bar{f}$  prakticky rovno  $f_1$  nebo  $f_2$  a  $\Delta f$  je velmi malé. Potom část

$$A(t) = 2A \cdot \cos\left[2\pi \frac{\Delta f}{2} t + \frac{\Delta\phi(x)}{2}\right]$$

má ve srovnání se zbylou částí význam pomalu se měnící amplitudy (obálky), amplitudově modulující vlnu o prakticky původní frekvenci:

$$y(x, t) = A(t) \cdot \sin[2\pi \bar{f}t + \bar{\phi}(x)].$$

Frekvence rázů je dvojnásobná vůči frekvenci obálky, neboť do jedné periody obálky se vtěsnají dva rázy:

$$f_{\text{rázů}} = 2 \cdot \Delta f / 2 = \Delta f.$$

## Úkoly

1. Pozměňte frekvenci ladičky. Na jaké frekvenci nyní kmitá?
2. Rozezvučte zároveň dvě ladičky, jednu s pozměněnou frekvencí. Kterou ladičku je lepší rozezvučet jako první?
3. Jaká je frekvence rázů? Odpovídá rozdílu frekvencí?

### 5.2.5 Další experimenty

Vyzkoušejte si činnost dalších modulů, např. snímač srdečního tepu, EKG apod.