

# **Journal of Cybernetics and Informatics**

published by

**Slovak Society for  
Cybernetics and Informatics**

**Special Issue**

**"New Trends in Education of Automation  
and Information Technology"**

**2004**

**ZABEZPEČENÍ VÝUKY PŘEDMĚTU ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU PRO STROJNÍ  
INŽENÝRY SE SPECIALIZACÍ V OBORU ŘÍZENÍ A POČÍTAČŮ  
Tůma J., 63-72**

<http://www.sski.sk/casopis/index.php> (home page)

**ISSN: 1336-4774**

# ZABEZPEČENÍ VÝUKY PŘEDMĚTU ZPRACOVÁNÍ SIGNÁLU PRO STROJNÍ INŽENÝRY SE SPECIALIZACÍ V OBORU ŘÍZENÍ A POČÍTAČŮ

Jiří Tůma, VŠB TU Ostrava<sup>1</sup>

## Anotace:

Referát pojednává o softwarové podpoře výuky předmětu Zpracování signálů pro studenty Fakulty strojní se zaměřením inženýrská informatika a řízení v magisterském studijním programu. Ve výuce je zdůrazněna orientace na vysvětlení složitých postupů zpracování naměřených dat z hlediska jejich softwarové realizace a výcvik v interpretaci naměřených dat. Softwarovou podporu výuky tvoří především aplikace SignalAnalyser, pomocí které je simulováno vyhodnocení uměle generovaných dat a různých příkladů měření v průmyslu.

## 1. Úvod

Předmět Zpracování signálů navazuje na obecné základy, které získají studenti z oboru strojnictví v bakalářském studijním programu, a na základy teorie signálů a identifikace dynamických systémů, dále na softwarové inženýrství a programování, které jsou přednášeny pro studenty magisterského studijního programu Inženýrská informatika a řízení v posledních dvou ročnících studia. Kombinace vědomostí získaných v uvedených předmětech dávají předpoklady lépe rozumět podstatě používaných metod, a proto také lépe interpretovat výsledky měření ve srovnání se strojním inženýrem bez zmíněných teoretických základů nebo ve srovnání se specialistou na měření bez základů strojnictví.

Výuka předmětu Zpracování signálů na katedře Automatizační technika a řízení bylo zahájeno v roce 1997. V této době se demonstrovaly postupy zpracování signálů s dosovským programem TVFiltP a analyzátozem BK 3550. Postupně začal být využíván toolbox Signal processing z programu MATLAB a analyzátor LabShop PULSE. Analyzátor PULSE nebylo možné poskytnout celé studijní skupině k experimentování. Silná stránka MATLABu v oblasti zpracování signálů je například v navrhování filtrů nebo k výpočtu waveletů, simulovat průběh zpracování naměřených dat jako při reálném průmyslovém měření je obtížné. Před dvěma léty bylo zřejmé, že je třeba vytvořit vlastní podpůrný prostředek k výuce. Souhrn požadavků na tento software byl následující:

- Program musí obsahovat generátor signálů s přesně definovanými vlastnostmi, aby bylo možné cíleně demonstrovat vliv různých postupů zpracování dat.
- Je třeba zachovat přístup k dříve změřeným datům z unikátních a neopakovatelných případů různých stavů strojů.
- Je třeba umožnit studentům zaznamenat vlastní signály z nejběžněji dostupného analog-číslicového převodníku, kterým je zvuková karta osobního počítače a tak pracovat na domácích úkolech.

---

<sup>1</sup> Prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.  
VŠB TU Ostrava, Fakulta strojní, Katedra ATŘ  
tř. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava-Poruba  
tel.: 59-699-3482, e-mail: jiri.tuma@vsb.cz

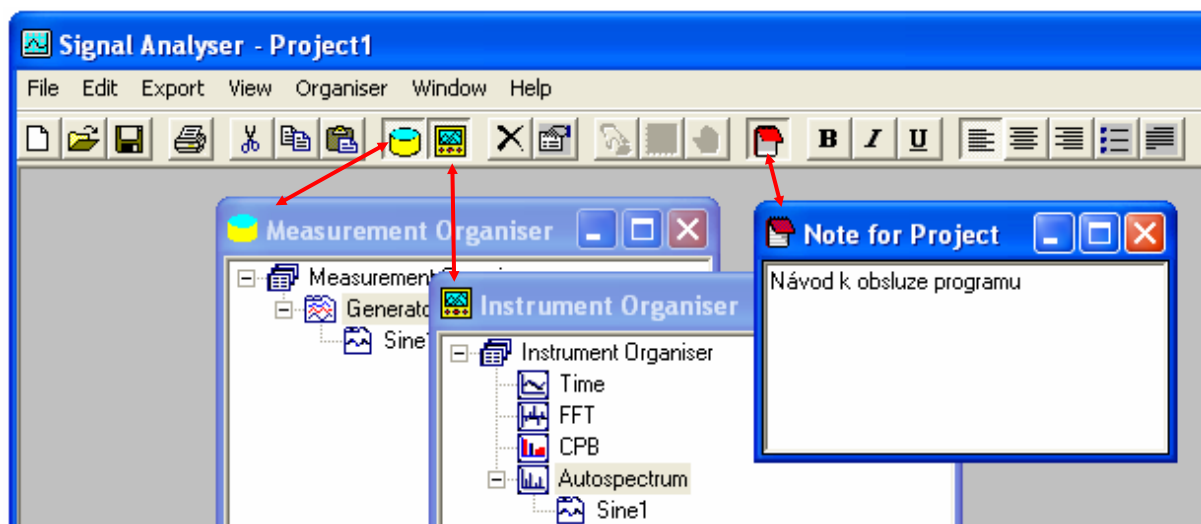
- Obsluha programu musí vyhovovat standardu operačního systému Windows, nejlépe jako MDI aplikace, tj. s možností otevření řady formulářů (oken) současně. Jako u programů tohoto typu je třeba, aby každá akce byla proveditelná několika způsoby (hlavní nabídka programu, nástrojový pruh, kontextová menu, horké klávesy). Postranním efektem je posilování návyku tyto způsoby ovládání programu cvičit.
- Vedoucí cvičení musí mít možnost předem připravit data a základní postup jejich zpracování tak, aby nebyl ztracen čas rutinou importu různorodých dat do prostředí programu.
- Obsluha programu musí být založena na terminologii, která je používaná výrobci nejpokrokovějších signálových analyzátorů.
- Zpracování signálů musí být demonstrovat běžné analyzátory založené na použití FFT (rychlá Fourierova transformace) a CPB (Constant Percentage Band frekvenční filtry).
- Pomůcka k výuce musí simulovat jevy při reálném provozním měření, tj. zobrazovat například průběh průměrování výsledku zpracování signálu ve frekvenční nebo časové doméně.
- Je třeba, aby filosofie z části kopírovala princip organizace postupu výpočtu známé u nejpokrokovějších signálových analyzátorů.
- Protože je velmi rozšířeno používání aplikace Excel ke zpracování a prezentaci dat, je třeba, aby grafické výsledky zpracování dat bylo možné aranžovat s využitím zkušeností s grafy v aplikaci Excel.

## 2. Základní popis funkce aplikace SignalAnalyser

Výsledkem práce na vývoji softwarové podpory výuky je aplikace SignalAnalyser. Kromě vlastního programu je velmi důležité připravit komplexní nápovědu a řadu demonstračních příkladů. Aplikace je naprogramována ve Visual Basicu. K prezentaci výsledků výpočtu je použita aplikace Microsoft Graph verze 9.0 a výše, která sice nemůže být spuštěna samostatně, ale pomocí automatizace z jiné aplikace, v daném případě z aplikace SignalAnalyser. Tyto grafy se editují naprosto shodně s grafy vytvořenými v aplikaci Excel a lze je přenést prostřednictvím schránky do libovolné aplikace Microsoft Office.

Vstupní signály aplikace SignalAnalyser jsou organizovány po vzoru nejmodernějších programů ve stromové struktuře ve skupinách odpovídajících jednomu měření s jednotnou vzorkovací frekvencí. Tento organizátor měření má označení *Measurement Organiser*. Jednotlivé přístroje jsou rovněž uspořádány ve stromové struktuře, která se nazývá *Instrument Organiser*. K jednotlivým přístrojům *Instrument Organiseru* se připojují jako vstupní signály položky z *Measurement Organiseru*. Měření se signály lze načíst ze zdrojových dat několika způsoby a v různých formátech. Přístroje odpovídají běžným typům analyzátorů. Kromě organizátorů je z hlediska výuky důležitý poznámkový blok, kde se vkládají studentům pokyny a vzory grafických výsledků. Vzhled aplikace je znázorněn na obr. 1. Hlavní okno programu má hlavní nabídku a nástrojový pruh. Řadu akcí lze vyvolat použitím kontextové nabídky (otevře se kliknutím na pravé tlačítko myši). V ukázce vzhledu aplikace jsou otevřeny organizátory a poznámkový blok.

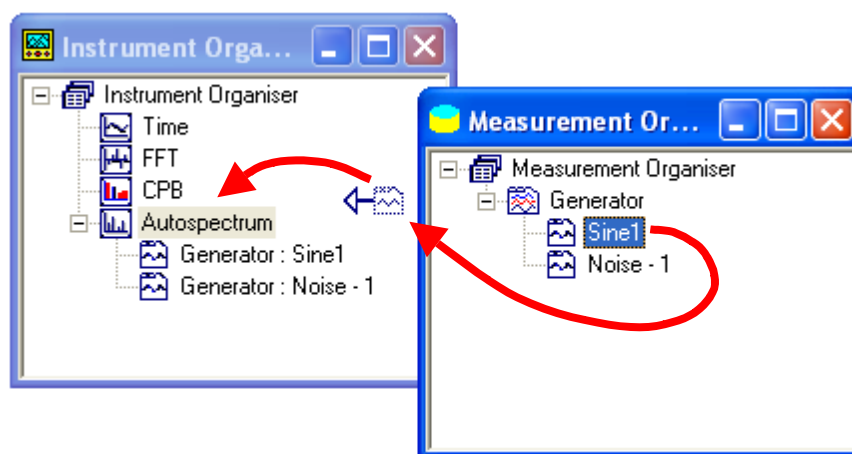
Připojení jednotlivých signálů k přístrojům, včetně nastavení těchto přístrojů, a načtená data lze uložit do souboru projektu s příponou SGA. Tuto příponu lze asociovat s aplikací SignalAnalyser.exe.



Obr. 1 Vzhled hlavního okna programu SignalAnalyser. Jednou z možností aktivace organizátoru nebo poznámkového bloku je kliknutí na tlačítka nástrojového pruhu

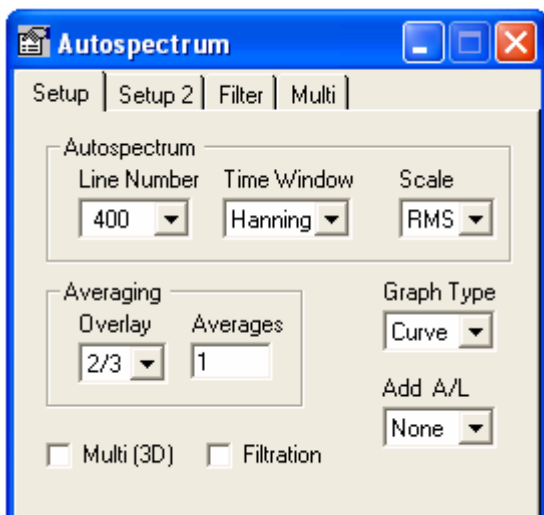
Do organizátoru měření lze vkládat data z různých zdrojů. Podobně do organizátoru přístrojů lze také vložit jejich libovolný počet. Samozřejmě lze použít jen ty přístroje, které byly předem naprogramovány. Pro výukovou verzi je to 11 přístrojů včetně přístroje simulujícího dynamickou soustavu s jednou rezonanční a jednou antirezonanční frekvencí.

Signály jsou k přístrojům připojovány několika způsoby. K tomuto účelu lze využít hlavní nabídku programu nebo kontextovou nabídku. Na obr. 2 je však demonstrována možnost přetažení ikony signálu a její upuštění nad ikonou přístroje. Také lze mezi přístroji signál přesouvat nebo jej kopírovat pro několik přístrojů. Technika táhli a pusť je využita také ke kopírování přístrojů.

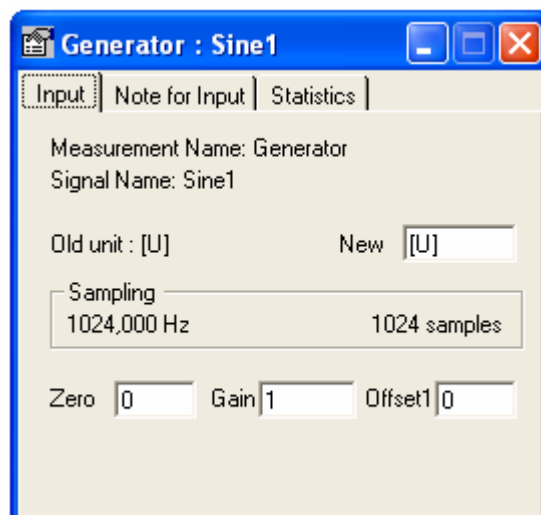


Obr. 2 Připojení vstupního signálu přístroje přetažením ikony signálu

Vlastnosti měření nebo signálu jsou dostupná ve formuláři *Properties*. Tento formulář lze otevřít třemi způsoby, a to volbou položky *Properties* v kontextovém menu nebo ve hlavním menu po rozbalení položky *Instrument* a nebo stiskem tlačítka na nástrojovém pruhu. Obsah jednou otevřeného formuláře se aktualizuje při změně položky stromu organizátoru přístrojů. Příklad *Properties* přístroje *Autospectrum* a jeho vstupního signálu je na obr. 3 a 4. Formuláře *Properties* obsahují všechny údaje týkající se vlastností signálů a nastavení přístrojů v odborných termínech běžných u moderních signálových analyzátorů.

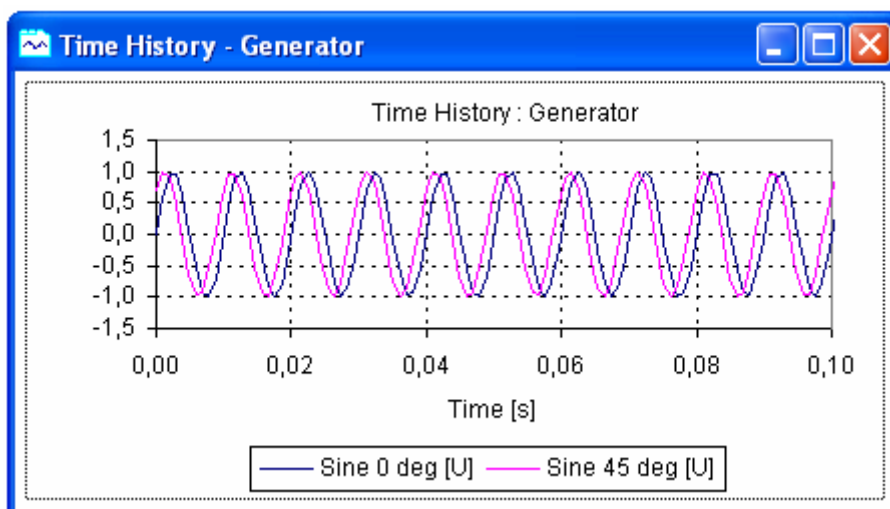


Obr. 3 Vlastnosti přístroje (Autospectrum)



Obr. 4 Vlastnosti vstupního signálu přístroje

Na obr. 5 je ukázka grafického výstupu programu, v daném případě zobrazení časového průběhu dvou vstupních signálů v simulovaném. Na ploše formuláře je prvek OLE s aplikací Microsoft Graph. Ve spodní části formuláře lze zobrazit stavový pruh s hlavními charakteristikami signálu. Na tomto místě se zobrazují také kurzorové hodnoty.



Obr. 5 Ukázka grafického výstupu aplikace

### 3. Typy signálů importovatelných do aplikace

Do aplikace SignalAnalyser lze importovat signály z různých zdrojů, což mohou být soubory textové nebo binární nebo textový obsah schránky a nebo také záznam signálu prostřednictvím zvukové karty. Aktuální seznam typů zdrojů je následující:

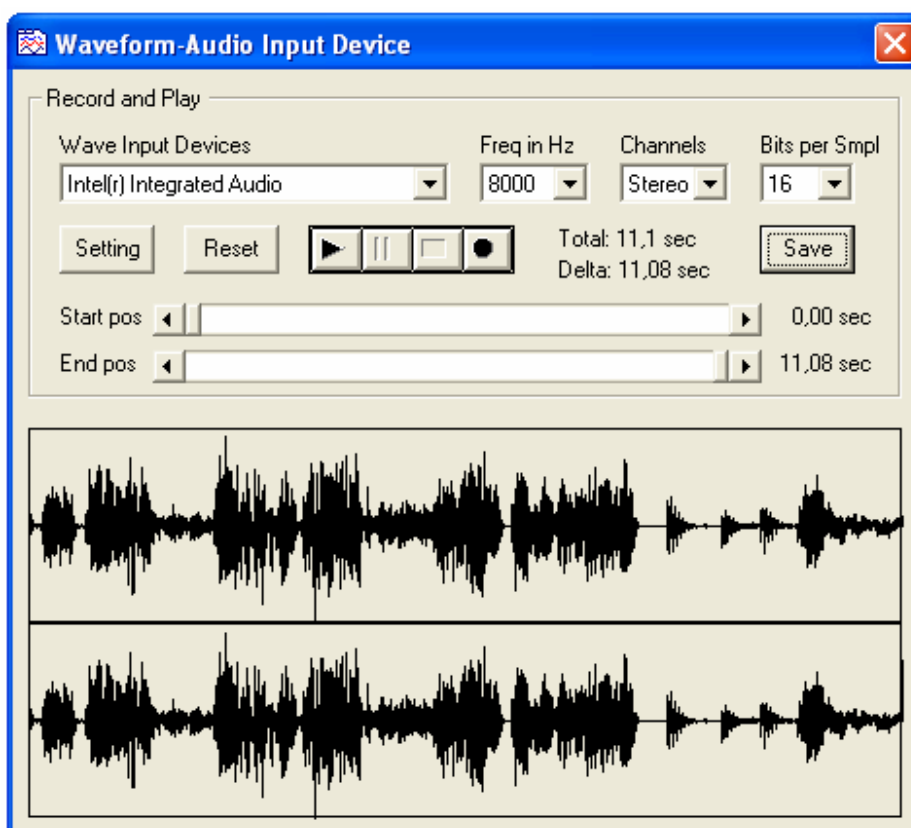
| Zdroj                                  | Popis                                      |
|--|--|
| <i>Binary Data arranged in Columns</i> | Binární 16bitová data uložená po sloupcích |
| <i>Binary Data from Buf-Files</i>      | Binární data z BUF-souborů                 |
| <i>ASCII Data from Clipboard</i>       | ASCII data ze schránky                     |

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| <i>ASCII Data from Text File</i>   | ASCII data z textového souboru                      |
| <i>Waveform File</i>               | Wave soubor s daty ze zvukové karty                 |
| <i>Waveform Audio Input Device</i> | Přímý záznam dat ze zvukové karty                   |
| <i>BK 2032 Time</i>                | Binární data ze signálového analyzátoru             |
| <i>BK 3550 Time History</i>        | Binární data z analyzátoru BK 3550                  |
| <i>PULSE Time History</i>          | Textová data z analyzátoru LabShop PULSE            |
| <i>Signal Generator</i>            | Generátor dat (harmonické signály s modulací a šum) |

Zvláště data z analyzátorů mohou být efektivně využity ve výuce. Jak již bylo řečeno, předem lze připravit projekt s již vloženými daty a student má za úkol je vyhodnotit.

Data lze zaznamenat přímo ze zvukové karty bez pomocného záznamu do souboru typu wave. Jestliže počítač je vybaven větším počtem zvukových karet, pak jednu z nich je třeba vybrat v nabídce *Wave Input Devices*. Před měřením je možné navolit vzorkovací frekvenci 8000, 11025, 22050 a 44100 Hz v nabídce *Freq in Hz*, počet bitů jednoho vzorku na 8 nebo 16bitový záznam (*Bits per Smpl*) a jedno nebo dvoukanálové měření (mono nebo stereo v nabídce *Channels*). Záznam se uskuteční kliknutím na poslední tlačítko prvku *Multimedia Control (MMControl)* obsahujícího 4 tlačítka vedle sebe s všeobecně známým významem. Záznam lze rovněž přehrát, přičemž pomocí dvou posuvníků je možné opakovaně vybrat pro toto přehrání, resp. uložení do paměti, různé úseky záznamu. Stiskem tlačítka *Save* se měření připojí ke stromu v organizátoru měření.












Resetování měření zavře část okna s grafy, což umožňuje opakovaný záznam signálu na vstupu zvukové karty. Tlačítko *Setting* slouží k otevření okna pro nastavení rozsahu vstupního signálu pro zvukovou kartu, resp. hlasitosti pro přehrávání.



Obr. 6 Formulář pro záznam signálu zvukovou kartou

#### 4. Typy přístrojů implementovaných do aplikace

Vkládání a rušení přístrojů lze dvěma způsoby, a to prostřednictvím hlavní nabídky programu nebo kontextové nabídky ve formuláři organizátoru přístrojů. Kopie přístrojů jsou označeny pořadovými čísly za jejich jménem. Jestliže je v přístrojovém organizátoru vybrána kořenová položka, pak nabídka Insert slouží ke vkládání přístrojů. Nyní jsou k dispozici pro výuku následující přístroje:

| Přístroj  | Popis funkce   |
|---|--|
|  <i>Time</i>           | Hilbertova transformace, obálka a filtrace ve frekvenční oblasti |
|  <i>FFT</i>            | FFT a filtrace ve frekvenční oblasti                             |
|  <i>CPB</i>            | 1/1- oktávové a 1/3-oktávové spektrum                            |
|  <i>Autospectrum</i>   | Průměrované autospektrum a filtrace ve frekvenční oblasti        |
|  <i>Cross-Spectrum</i> | Průměrované vzájemné spektrum a filtrace ve frekvenční oblasti   |
|  <i>FRF</i>            | Průměrovaný frekvenční přenos a koherence včetně filtrace        |
|  <i>Overall</i>        | Celková efektivní hodnota (RMS) nebo výkonu (PWR) signálu        |
|  <i>Tachometer</i>     | Otáčky z impulsního signálu                                      |
|  <i>Resampling</i>     | Převzorkování signálu například podle intervalů otočení stroje   |
|  <i>Test Unit</i>     | Transformace signálu zadanou přenosovou funkcí                   |
|  <i>FIR Filter</i>   | Filtr s konečnou impulsní odezvou                                |

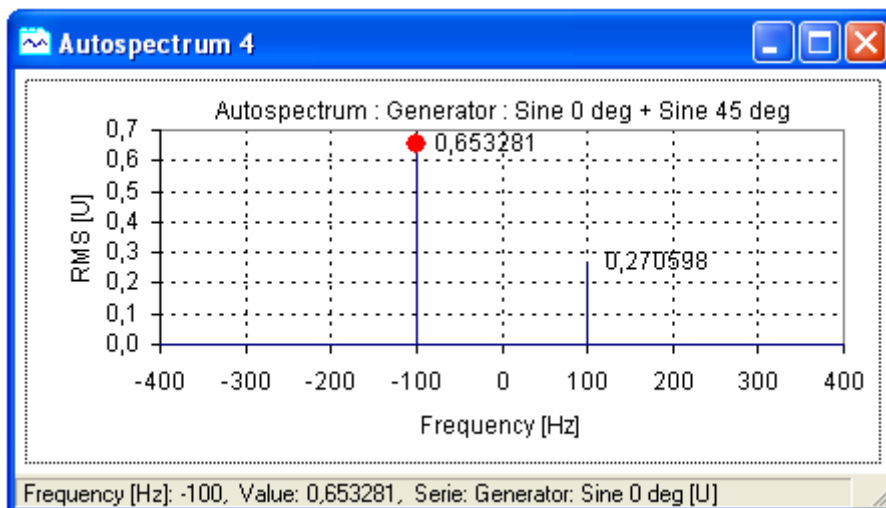
Přístroje simulují *FFT*, *Autospectrum*, *Cross-Spectrum*, *Frequency Response Function*, *Overall*, *CPB* a další analyzátoři. Základem přístrojů *Time*, *FFT*, *Autospectrum*, *Cross-Spectrum*, *Frequency Response Function* je výpočet FFT. Výpočet spektra *CPB* je z autospektra, které je vypočteno také pomocí FFT. Z tohoto spektra jsou vypočteny charakteristiky signálu (*RMS* a *PWR*) v oktávových nebo třetinooktávových pásmech. Zkušenosti získané s uvedenou množinou přístrojů vystačí nejen při běžných, ale také specializovaných diagnostických měřeních a testech strojů.

Možnost převzorkování signálu podle frekvence otáček umožňuje provádět řádovou analýzu jako s profesionálními přístroji. Pro demonstraci metody převzorkování lze pozorovat efekt přesnosti interpolace na vznik chyb. Vysoká přesnost převzorkování, která je srovnatelná s profesionálními analyzátoři, je dosažena do frekvence složky signálu o velikosti  $f_s/2/2,56 = f_s/5,12$ , kde  $f_s$  je vzorkovací frekvence. Jak již bylo uvedeno v požadavcích na software, výsledná spektra lze průměrovat ve frekvenční oblasti s pozorováním průběhu ustálení spektra jako při provozním měření se signálovým analyzátořem. Rovněž lze průběžně pozorovat průměrování převzorkovaných záznamů v časové oblasti. Tato operace se nazývá také synchronní filtrace.

Program je koncipován tak, že může vykreslovat orbity a vypočítat úplná spektra (full spectrum) ke studiu prostorového kmitání hřídelí uložených v kluzném ložisku na základě signálů zachycujících pohyb ve dvou směrech. Úplná spektra nejsou pro složky se zápornými frekvencemi symetrická kolem nulové frekvence a jsou vypočtena ze vzorků komplexního signálu, ve kterém reálná část představuje časovou změnu polohy hřídele v jednom směru a imaginární část zachycuje pohyb ve směru kolmém. Ukázka úplného spektra je na obr. 7 pro data z obr. 5.

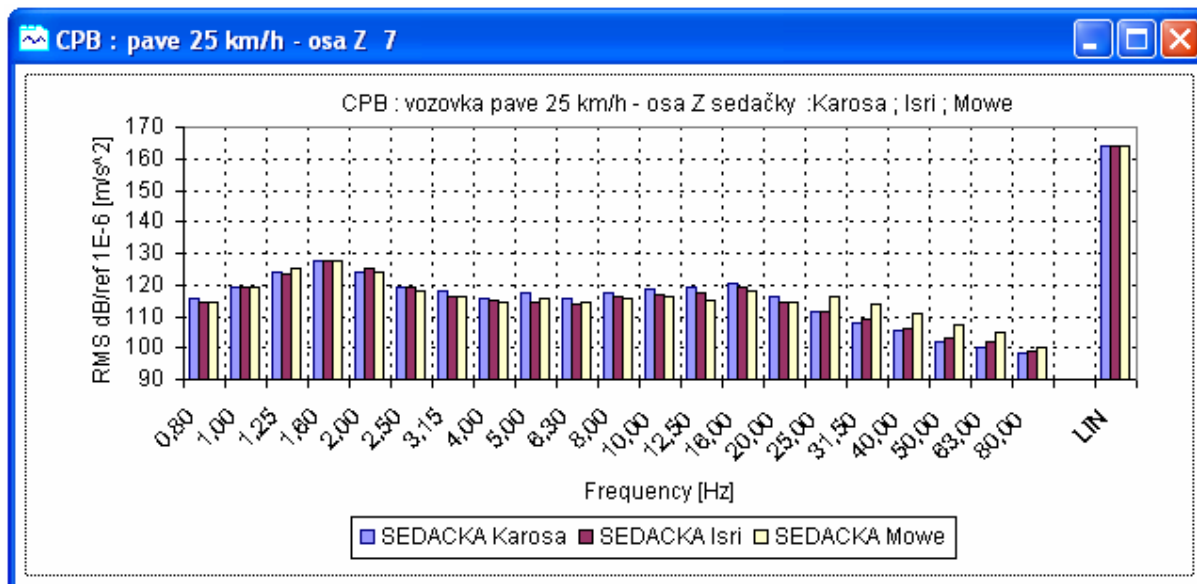
Přístroj *Time* umožňuje fázovou demodulaci impulsních signálů k vyhodnocení úhlových kmitů za rotace. V tomto přístroji je možná také až dvojnásobná integrace nebo derivace prostřednictvím frekvenční oblasti s využitím dělení nebo násobení faktorem  $j\omega$  nebo  $-\omega^2$ . Zmíněné násobení nebo dělení zesiluje nízkofrekvenční nebo vysokofrekvenční složky spektra včetně

měřicího šumu u vysokofrekvenčních složek nebo nízkofrekvenčního driftu u složek nízkofrekvenčních. Obě operace lze provádět v selektivně vybrané frekvenční oblasti. Praktické užití je při výpočtu výchylek ze záznamu zrychlení (integrace s potlačením nízkofrekvenčního driftu piezoelektrických akcelerometrů) nebo při výpočtu úhlového zrychlení derivací kolísání fáze signálu. Integrovaní a derivování pomocí FFT je po blocích o pevném počtu vzorků. Návaznosti těchto bloků lze vyhladit FFT konvolucí, která je efektivnější než filtrace pomocí filtru FIR.



Obr. 7 Úplné spektrum simulovaného komplexního signálu z obr. 5

Výsledné grafy mohou být bodové (volba *Line* nebo *Curve* v *Properties* přístroje) nebo sloupcové (volna *Bar*). Sloupcové grafy jsou vhodné pro CPB spektra. Ukázka těchto spekter je na obr. 8.



Obr. 8 CPB spektra hladin vibrací (RMS) různých sedaček pro hodnocení jízdního pohodlí

Aplikace SignalAnalyser umožňuje vyhodnocovat multispektra signálů s řízením výpočtu okamžiku vyhodnocení spekter podle zadaného přírůstku času nebo otáček. Bloky záznamů pro výpočet FFT lze z měřeného signálu vybírat s předvoleným časovým posunem nebo skokem otáček.

Soubor přístrojů doplňuje testovací jednotka *Test Unit*. Tato jednotka transformuje vstupní signál přes soustavu s jednou rezonanční a jednou antirezanční frekvencí. Generátor signálů umožňuje vytvořit deterministický impuls a bílý šum. Z těchto signálů vytvoří testovací jednotka

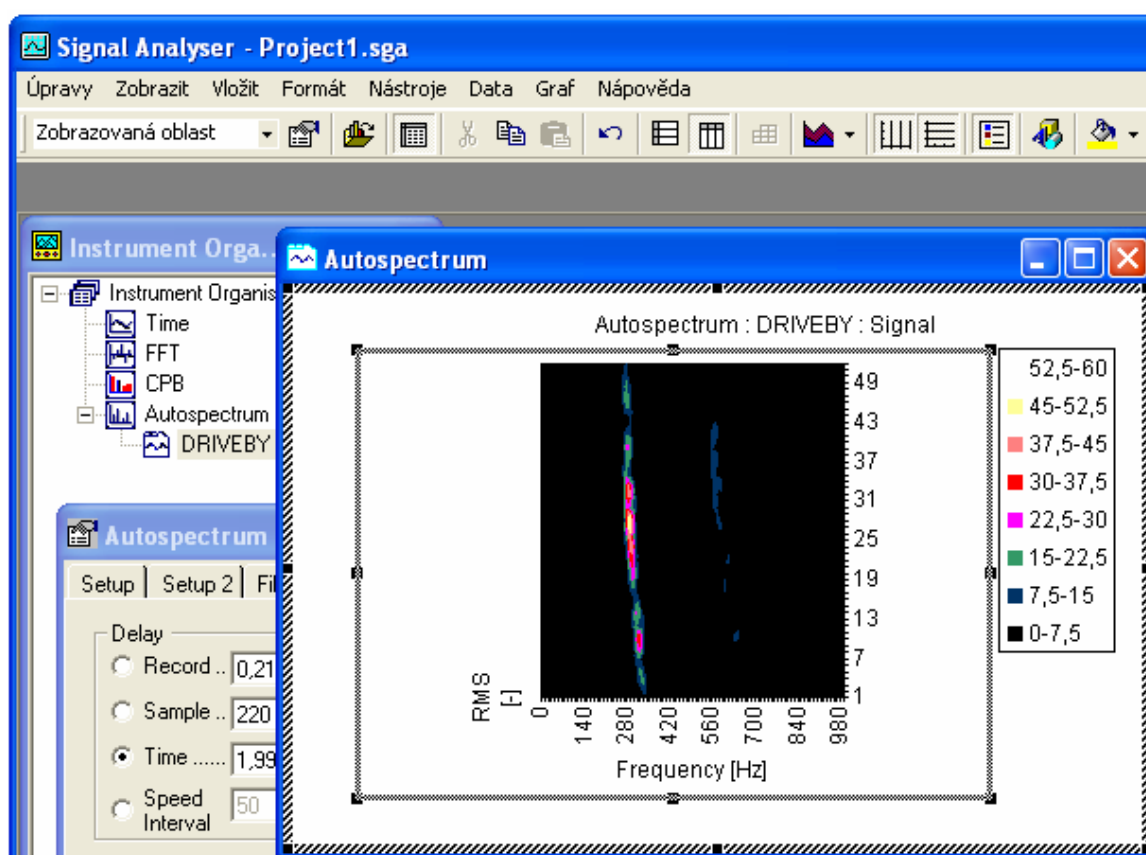


signály, které mohou být použity společně se svými vstupními signály jako vstup pro přístroj *FRF* (Frequency Response Function) ke studiu vlivu nastavení tohoto přístroje na vypočtenou frekvenční přenosovou funkci.

Ve vypočtených grafech lze vyvolat kurzor. Hodnoty funkce odpovídající poloze kurzoru se zobrazují ve stavovém pruhu grafu. Významné hodnoty se v grafu trvale zobrazují jako v příkladu na obr. 7.

## 5. Editace výstupních grafů

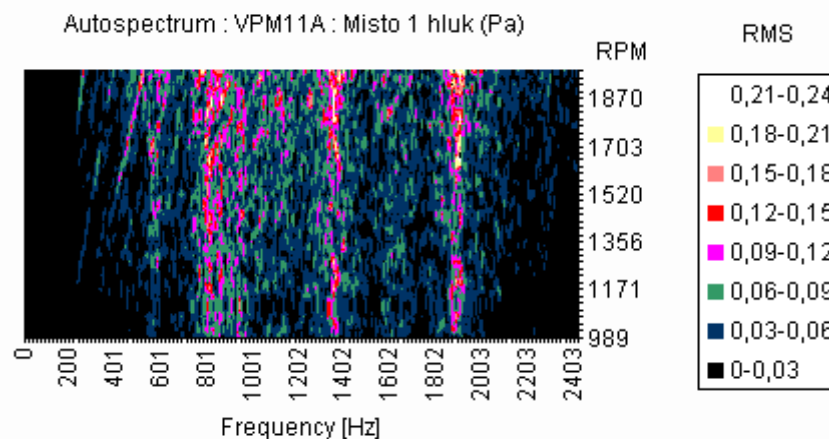
K editování výsledných grafů je třeba otevřít aplikaci Microsoft Graph, která je vložena do formuláře grafu. Otevření uvedené aplikace lze dosáhnout dvojitým kliknutím na ploše formuláře s grafem nebo z kontextové nabídky a nebo z hlavní nabídky programu Signal Analyser. Těmito postupy se otevře program Microsoft Graph s vlastní hlavní nabídkou a nástrojovým pruhem. Prvek OLE s grafem se orámuje tečkovanou čarou – viz následující obrázek.



Obr. 7 Úpravy grafu v prostředí aplikace Microsoft Graph

Výchozí graf 2D vypočtený aplikací SignalAnalyser je buď XY bodový (*Line a Curve*) nebo sloupcový (*Bar*). V aplikaci Microsoft Graph lze předvolené typy grafu změnit. V hlavním menu této aplikace se pod nabídkou *Graf* vybere položka *Typ Grafu*, ve které si lze vybrat z některých nabízených vzorů.

Pro 3D grafy je vhodný povrchový graf buď plošný nebo prostorový. K úpravám grafu jsou k dispozici nástroje k měnící proporce os ve 3D znázornění a barevnou stupnici. Obě tyto pomocné funkce se spouštějí z nástrojového pruhu hlavní nabídky programu. Příklad vzhledu plošného grafu je na obr. 9. Obsahem grafu je multispektrum hluku při rozběhu Diesela motoru nákladního automobilu z 1000 na 2000 otáček za minutu (RPM) a je demonstrací vybuzeného a rezonančního kmitání.



Obr. 9 Multispektrum z rozběhu motoru

## 6. Nápopvěda programu a demonstrační příklady

Součástí programu je standardní nápověda, která se otvírá prostřednictvím hlavní nabídky programu. Pro aktivní formulář lze příslušné téma nápovědy otevřít stiskem klávesy F1. Nápověda obsahuje samozřejmě mimo obsahu také rejstřík a vyhledávání podle zadaného řetězce.

Kromě nápovědy je součástí programu také řada demonstračních projektů s daty. Tyto projekty byly vytvořeny k výuce

- Integrovaní a derivování signálů
- FFT, časových oken, průměrování, detekce harmonického signálu v šumu
- Řádové analýzy, synchronní filtrace
- Obálky a fázové demodulace signálů
- Měření spekter signálů
- Měření frekvenčních charakteristik

Aplikačně orientované projekty jsou pro následující oblasti technické diagnostiky nebo provozních měření hluku a vibrací strojů

- Hluk převodovek
- Hluk motorů
- Jízdního pohodlí
- Úhlové kmity hřídelí za rotace strojů
- Prostorové kmitání hřídelí v ložiskových pouzdrech.

## 5. Závěr

Referát se zabývá softwarovou podporou výuky předmětu Zpracování signálů nebo obecně požadavky, které jsou kladeny na jeho vlastnosti. Upřednostňují se následující prvky: profesionální ovládání programu, generování jednoduchých signálů pro demonstrování účinku jednotlivých parametrů výpočtu (časová okna, překrývání, průměrování, atd.) a přístup k datům ze skutečných provozních měření. Hlavní částí referátu je popis software, který byl vyvinut pro podporu výuky na katedře Automatizační techniky a řízení, Fakulty strojní VŠB – TU Ostrava.

**Literatura:**

- [1] TŮMA, J. Signal Analyse, the software support for education of signal processing. In *Proceedings of 4<sup>rd</sup> International Carpathian Control Conference*. Košice : TU Košice, 26. - 29. 5. 2003, s. 206-209. ISBN 80-7099-509-2

**Poděkování** Tento výzkum je prováděn na katedře Automatizační techniky a řízení VŠB Technické university v Ostravě jako část výzkumného záměru číslo CEZ J17/04:272300011, který je podporován Ministerstvem školství a mládeže České republiky.