

Peter Kriššák - Igor Strážovec - Jozef Božek \*

# MERANIE HYDRAULICKÉHO SYSTÉMU PROSTREDNÍCTVOM LABVIEW

## THE MEASUREMENT OF CLOSE HYDROSTATIC CIRCUIT BY LABVIEW

*Vo väčšine prípadov sa môže personálny počítač (PC) v priemysle vyrovnáť tradičným meracím a riadiacim prístrojom, nezávisiac na type oddelenia, ktoré ho použije. Rozsiahla kapacita PC dovoľuje vytvárať personálne, flexibilné systémy s väčšou možnosťou implementácie než tradičné nástroje. Už raz vytvorený systém je ľahké upraviť pre rozdielne aplikácie bez zakúpenia nového prístroja. V predkladanom článku je prezentovaný merací systém uzavretého hydrostatického obvodu založený na personálnom počítači a jeho statické a dynamické charakteristiky namerané prostredníctvom grafického programovacieho softvéru LabView.*

### 1 Úvod

Meranie dát (DAQ) je jednou z možností použitia personálneho počítača v laboratórnom výskume, v priemyselnom riadení alebo testovaní a meraní. DAQ ponúka nespočítateľné množstvo aplikácií s jedinou doskou vsunutou do PC. Veľkou výhodou je možnosť vyvinúť aplikácie na spracovanie rôznych typov meraní (ako nízke a vysoké elektrické napätie, elektrický prúd, napätie, teplota, frekvencia a pod.), ktoré by boli len ťažko uskutočniteľné tradičnými meracími prístrojmi [3]. Získanie výsledkov z počítačového systému merania dát závisí od každého z nasledovných elementov:

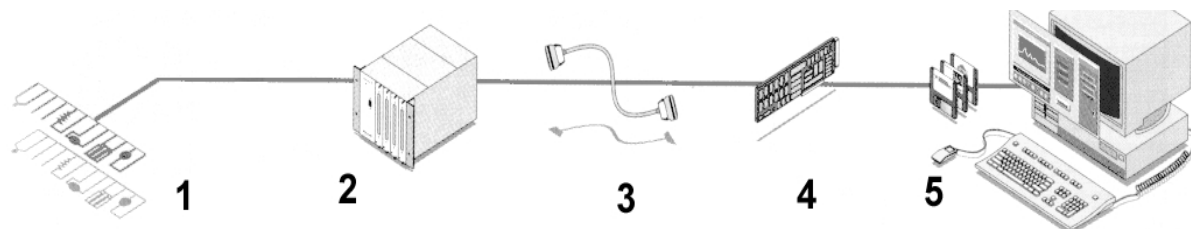
- Snímače
- Zariadenia na úpravu signálu a káble pre prenos signálu
- Hardvér pre meranie dát
- Softvér pre hardware a aplikačný software
- Personálny počítač

*In most cases, the personal computer (PC) can emulate traditional measurement and automation control instruments in industry, no matter which departments use it. The PC's extensive capabilities enable to create personalized, flexible systems with more possible implementations than traditional tools. Once a system is created, it is easy to change it for different applications without buying new equipment. In this paper, a computer based measurement system of close hydrostatic circuit and its static and dynamic characteristics acquired by application of LabView graphical programming software is presented.*

### 1 Introduction

Data acquisition (DAQ) is one possibility using a personal computer for laboratory research, industrial control or test and measurement. DAQ offers countless applications with one board plugged into computer. The added benefits mean to develop applications to make all types of measurement (such as low voltage, high voltage, current, strain, temperature, frequency, etc.) that would be difficult to implement with traditional measurement hardware [3]. Obtaining results from PC based data acquisition system depends on each of these system elements:

- Transducers
- Signal Conditioning and Cables
- Data acquisition (DAQ) hardware
- Driver and application software
- Personal computer



Obr. 1 Příklad typického DAQ systému  
Fig.1 The typical DAQ System

\* Ing. Peter Kriššák, doc. Ing. Igor Strážovec, PhD., Ing. Jozef Božek  
Department of Heat and Hydraulic Machines, Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina, Slovak Republic,  
Phone: +421-89-513 2867, +421 0903 512 609, E-mail: peter\_krissak@kths.utc.sk

Na obr. 1 sú znázornené elementy typického počítačového systému pre meranie dát. Signály prúdiace do a z testovanej jednotky sú prenesené prostredníctvom snímačov 1, zariadenia na úpravu signálu 2, kábel 3 a zasunutej DAQ dosky 4 do personálneho počítača 5, kde sú spracované pre ďalšiu analýzu.

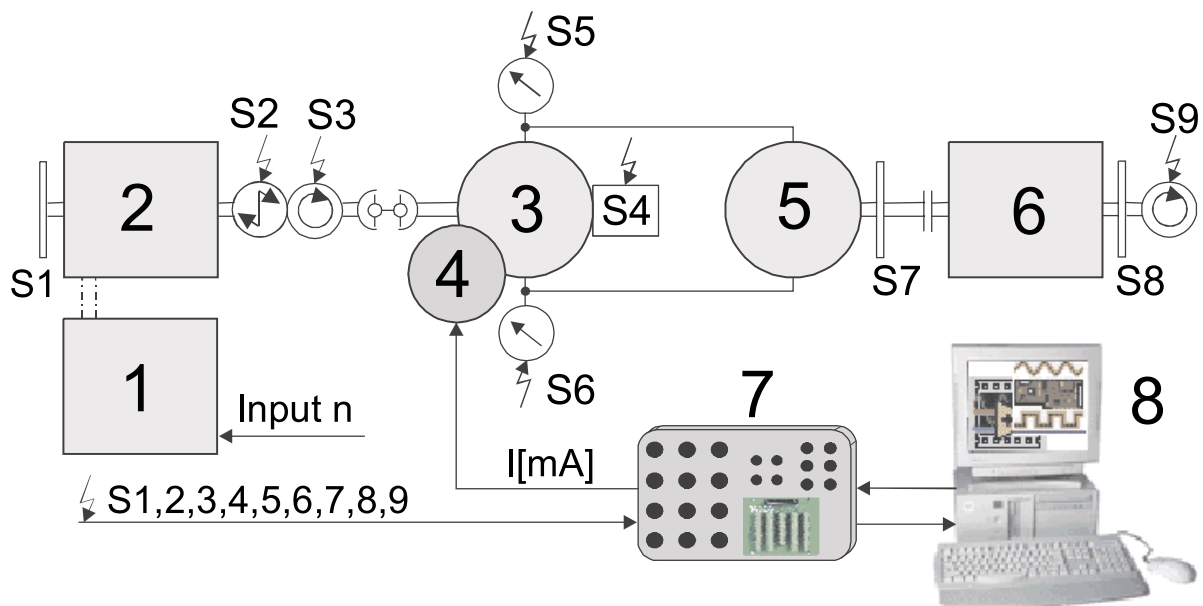
## 2 Opis meranej sústavy

Meraný hydraulický systém založený na počítači je zostavený z elementov, ktoré sú znázornené na obr. 2. Hydrogenerátor (3) je poháňaný dynamo - elektrickým pohonom (1, 2). Pracovná kvapalina je v uzavretom obvode prenášaná hadicami do hydromotora (5), ktorý je zaťažovaný brzdou Schenk (6). Servovalec (4) mení veľkosť prietoku v hydrostatickom obvode. Snímače S3, S2 merajú krútiaci moment a vstupné otáčky hydrogenerátora, S4 je snímač polohy dosky hydrogenerátora, S5 a S6 merajú tlak vo vysokotlakovej a nízkotlakovej vetve uzavretého hydraulického obvodu, S9 je snímač výstupných otáčok hydromotora. Snímače S1, S7, S8 sú porovnávacie snímače otáčok hydromotora. Signály zo snímačov prúdia prostredníctvom káblov do zariadenia pre úpravu signálov (7) prepojeného s personálnym počítačom (8).

Fig. 1 presents elements of the typical data acquisition computer based measurement system. Signals flowing to and from the unit under test are transferred through transducers 1, signal conditioning 2, cable 3 and plug-in DAQ board 4 to computer 5 where they are processed for analysis.

## 2 Plant description

The computer based measurement of hydraulic system is built-up from elements which are displayed in Fig. 2. The hydraulic pump (3) is driven by dynamoelectric drive (1, 2). The fluid is transferred by hoses in close circuit to the hydraulic motor (5) which is loaded by brake Schenk (6). Servo-valve (4) changes the volume of flow in close hydrostatic circuit. Sensors S2, S3 measure the input revolve and torque to hydraulic pump, S4 is a displacement sensor for hydraulic pump plate, S5 and S6 measure pressure in the high and low pressure part of close hydraulic circuit, S9 is output revolve sensor. Sensors S1, S7, S8 are comparison revolve sensors. Signals from sensors flow through cables to signal conditioning (7) connected with a personal computer (8).



Obr. 2 Meranie hydraulického systému založené na personálnom počítači  
Fig. 2 The computer based measurement of hydraulic system

Snímače konvertujú merané fyzikálne veličiny (tlak, prietok, teplota, otáčky a pod.) na elektrické signály vstupujúce do meračích prístrojov, zosilňovačov a pod., kde dochádza k úprave signálu.

Ako I/O zariadenie je pre meranie dát použitá ISA autokonfiguračná doska AT-MIO-16E-10 [1], [3]. Technológia E série je štandardná architektúra pre široký rozsah aplikačných požiadaviek. Hlavné charakteristiky AT-MIO-16E-10 sú vzorkovanie 100 kS/s,

Transducers convert measured values (pressure, overflow, temperature, revolution, etc.) to input electricity signals of measure equipment, amplifiers etc., where signals are modified.

ISA plug-in DAQ Board AT-MIO-16E-10 is used as a data acquisition I/O device [1], [3]. The E Series technology is a standard architecture for a wide range of application requirements. Main characteristics of AT-MIO-16E-10 are

16 unipolárnych alebo 8 bipolárnych 12-bitových analógových vstupov, dva 12-bitové analógové výstupy, digitálny trigger, dva 24-bitové čítače/časovače.

Softvér má široký rozsah funkcionality od ovládačov pre špecifické hardware zariadenia až po aplikačný software balík pre vývoj kompletného systému merania a automatizácie. National Instruments NI-DAQ *Driver Software* je časťou servisnej vrstvy merania a automatizácie, ktorá integruje všetky NI DAQ produkty. NI-DAQ izoluje užívateľa od priameho špecifikovania príkazov pre hardvér a poskytuje jednoduché, ale účinné programovanie *Application Programming Interface (API)*. NI-DAQ API zaisťuje úplný prístup k funkciám hardware a zaisťuje súbežnú funkčnosť vnútri a cez dosku. Pretože funkcie DAQ hardvér sú prístupné prostredníctvom ovládača, NI-DAQ je dôležitý ako samotný hardvér [3]. Ako aplikačný softvér je použitý LabVIEW [4]. LabVIEW poskytuje intuitívne grafické programovacie prostredie pri vysokej produktivite, ideálnej pre simuláciu a rýchle testovanie myšlienok. Je vhodný pre ľudí neoboznámených s tradičnými programovacími technikami a kombinuje jednoduchú ovládateľnosť s flexibilitou výkonného programovacieho jazyka [2], [4].

### 3 Aplikačný program pre meranie hydraulického systému

Po otvorení LabVIEW sa objaví čistý neoznačený čelný panel. Každý program obsahuje rovnaké toolbar príkazových tlačidiel a indikátorov stavu pre beh a ladenie virtuálneho nástroja (VI). Tiež obsahuje možnosti výberu písma a jeho úpravy a nástroje pre editovanie VI. Program sa tvorí výberom a prepojením ikon pomocou nástrojovej a editovacej palety. Čelný panel môže obsahovať numerické ovládače, Boolean vypínače, posuvné ovládače, otáčavé gombíky, grafy, indikátory a podobne.

Čelný panel virtuálneho prístroja (VI) pre meranie charakteristik hydrostatického prevodu je znázornený na obr. 3. Veľkosť elektrického prúdu do servoventila je regulovaná prostredníctvom otáčavého gombíka alebo nastavením hodnoty pomocou prírastkových tlačidiel digitálneho ovládača v časti A. V prípade použitia otáčavého gombíka sa nastavená hodnota objaví aj v zobrazovacom poli digitálneho indikátora. Digitálny ovládač pre výber meraných vstupných kanálov prírastkovými tlačidlami, digitálny indikátor vstupných kanálov a digitálny indikátor výstupného kanála je v časti B. Blok C má význam z hľadiska nastavenia rýchlosti generovania hodnôt a čítania nameraných hodnôt za sekundu (*Scan and update rate*). *Scan backlog* informuje o počte dát ostávajúcích v bufferi po ukončení VI. *Input a Output buffer size* určuje veľkosť bufferov, do ktorých sa ukladajú namerané a generované hodnoty. Nula znamená, že pre meranie je generovaná iba jedna perióda signálu. Veľkosť vstupného a výstupného buffera, kde sa merané a generované hodnoty ukladajú, môže byť menená prírastkovými tlačidlami digitálnych ovládačov. Farby a okamžité hodnoty napätia jednotlivých kanálov zobrazuje blok E. Graf v časti D zobrazuje priebeh meraných veličín jednotlivých kanálov vo voltoch. Paleta F je určená pre úpravu grafu, prípadne pre doplnenie informácií. Možnosti úpravy zahŕňujú legendu,

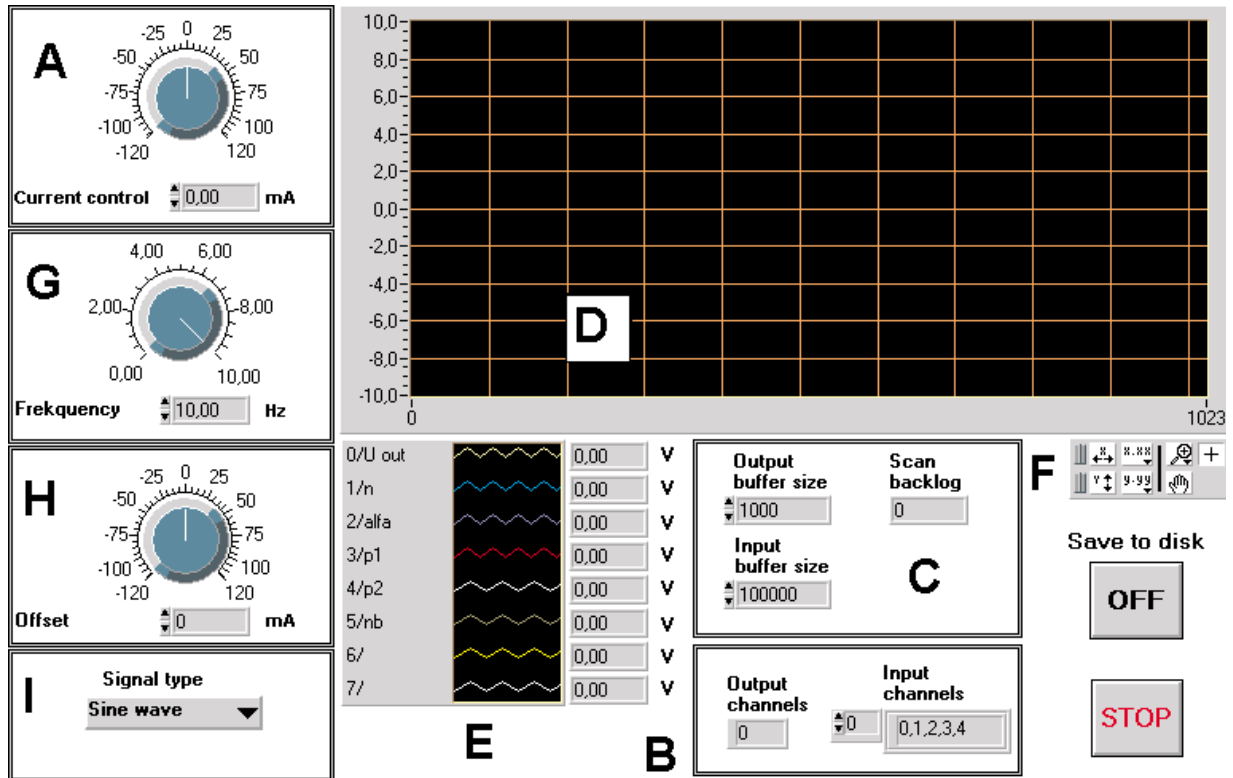
sampling rate 100 kS/s, 16 single-ended or 8 differential 12-bit analog inputs, two 12-bit analog outputs, digital trigger, two 24-bit counters/timers.

The software has a broad range of functionality. From device drivers of specific hardware interfaces to application software packages for developing complete measure and automation systems. The National Instruments NI-DAQ *Driver Software* is the portion of the Measurement and Automation Services Layer that integrates all NI's DAQ products. The NI-DAQ isolates user from the hardware-specific register commands and it gives a simple yet powerful programming *Application Programming Interface (API)*. The NI-DAQ API ensures comprehensive access to hardware functions and delivers concurrent functionality within and across board. Because the DAQ hardware functions are accessed through the driver, NI-DAQ is as important as the hardware itself [3]. LabVIEW [4] is used as an application software. LabVIEW offers intuitive graphical programming environment for high productivity development ideal for simulation and quick tests of ideas. It is good for people not familiar with traditional programming techniques and it combines easily the use of graphical development with flexibility of powerful programming language [2], [4].

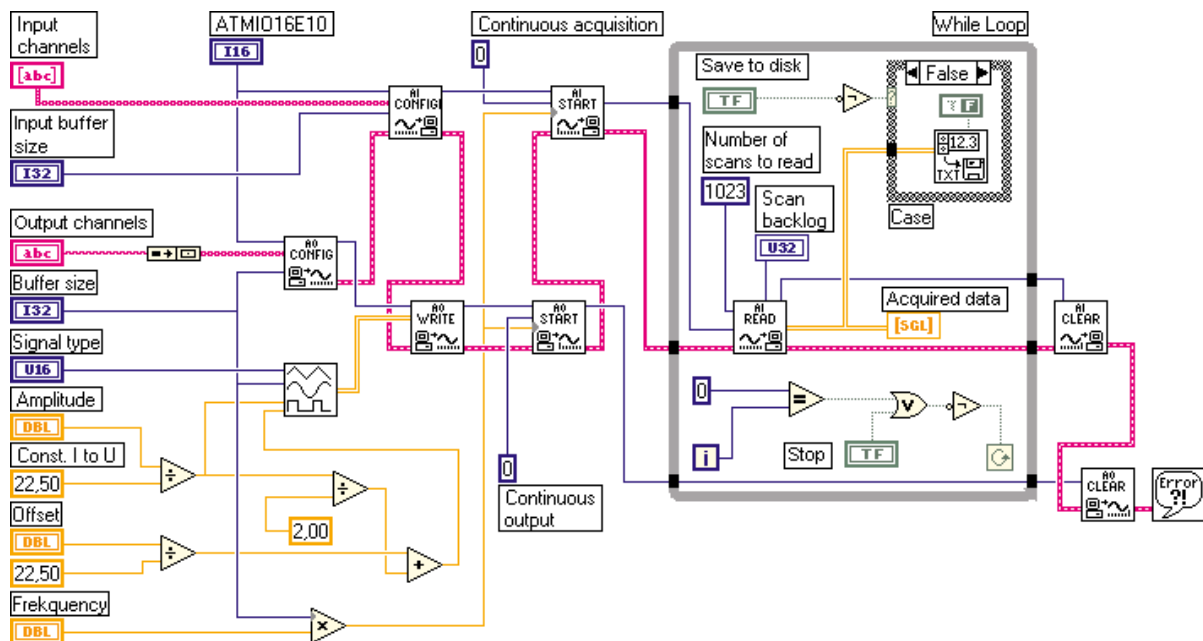
### 3 The application program for measurement of hydraulic system

After the opening of LabVIEW, a blank, untitled front panel appears. Each program contains the same toolbar of command buttons and status indicators for running and debugging VIs. It also contains font options and alignment and tools for editing VIs. The program is produced by icons selected and connected with tools and controls palette. The front panel can contain numeric controls, Boolean switches, slide controls, knob controls, graphs and indicators, etc.

The front panel of the virtual instrument (VI) for measure of hydrostatic transmission characteristics is presented in Fig. 3. Current intensity to the servo valve is regulated by knob control or increment buttons of digital control in part A. When knob control is used, the current value is represented in digital control as well. The digital control for the selection of the measured input channels by increment buttons, input channels digital indicator and output channel digital indicator is represented in part B. Increment buttons of *Scan and update rate* digital control (part C) set speed of generating values and reading measured values per second. The *Scan backlog* represents the amount of data remaining in the buffer after VI complete. Zero means that only one period of signal is generated for the measure. The *Input and Output buffer size*, where the measured and generated values are stored, can be changed by increment buttons of digital controls. Measured values appear in digital indicators (part E). The selected color assignment to each measured channel is represented in part E. The graph (part D) represents directly measured values of individual channels in voltage. Part F is a palette used to customize a graph to match own data display requirements or to display more information. Features available for graphs include a legend, zoom, a tool for rescale axes, etc. The



Obr. 3 Čelný panel virtuálneho prístroja  
Fig. 3 The front panel of virtual instrument



Obr. 4 Blokový diagram  
Fig. 4 The block diagram

lupu, nastavenie rozsahu súradnice x, y a pod. V bloku G sa nastavuje frekvencia zvoleného periodického signálu. Blok H umožňuje posunúť strednú hodnotu, okolo ktorej kmitá generovaný signál (nastavenie *Offset*). Výber tvaru generovaného (sínus, píla, trojuholník, obdĺžnik alebo konštantný signál) ponúka blok I. Tlačidlo *Save to disk* je určené na zápis nameraných napätí po ukončení behu programu na hard disk PC. Na zastavenie behu programu, v ktoromkoľvek okamihu, slúži tlačidlo *STOP*.

Zároveň s čelným panelom sa vytvára blokový diagram, ktorý je ekvivalentom programu. Pre každý objekt vložený do čelného panelu, existuje terminál zobrazovaný v blokovom diagrame (obr. 4). Terminály sú spolu spájané pre názornosť toku dát vnútri blokového diagramu. Označenie vo vnútri terminálu hovorí, aký číselný formát prechádza z prvku čelného panela do terminálu a cez neho ďalej do blokového diagramu alebo naopak. Číselný formát a jeho presnosť je možné meniť na reálne číslo, komplexné číslo, celé číslo s jednoduchou alebo dvojnásobnou presnosťou. Terminál sa spája s ďalšími prvkami (operátormi, konštantami a pod.) Pre plnohodnotnú funkciu programu je potrebné použiť do blokového diagramu aj podprogramy SubVI, ktoré sú nezávislými programami prepojenými konektormi. V našom programe sú použité SubVI, ktorých úloha je nasledovná:

- *AI Config* konfiguruje analógové vstupné operácie pre špecifikovanú skupinu kanálov (počet a skupinu kanálov, limity napätia, zosilnenie). Tento VI konfiguruje hardvér a vyhradí bufer pre buferované vstupné operácie.
- *AO Config* konfiguruje výstupné kanály, limity napätia a veľkosť buferu pre analógové výstupné operácie.
- *AI Start* nastavuje skenovaciu rýchlosť, počet skenov na jedno meranie, trigerovacie podmienky (použitie externého spúšťacieho signálu) a následne spustí meranie. V našom prípade boli ponechané predvolené hodnoty: meranie bez trigerovania, kontinuálne meranie bez obmedzenia počtu skenov na jedno meranie.
- *AO Start* vyberie nastavené hodnoty napätia z vyrovnávacej pamäte, nastaví rovnakú zapisovaciu rýchlosť ako *AI Start* a potom spustí generovanie riadiaceho signálu.
- *AI Read* číta zadaný počet dát zo vstupného buferu. V našom prípade číta *AI Read* 1000 hodnôt zo vstupného buferu.
- *AI Clear* a *AO Clear* vyprázdni po ukončení merania vstupné a výstupné úlohy spojené z *taskID*.
- Správny smer behu programu je zabezpečený pomocou identifikátora *taskID*, ktorým sú spojené SubVI patriace jednému typu úlohy (AI, AO...). Každý SubVI môže začať pracovať až vtedy, ak má na svojich vstupoch platné dáta. Paralelne môžu pracovať rôzne typy úloh, ale v danom type úlohy musia jednotlivé SubVI pracovať sériovo, napríklad SubVI *AI Start* začne pracovať až po ukončení činnosti *AI Config*, čo je zabezpečené práve identifikátorom *taskID*.
- *Error* oznámi, ak sa počas behu programu vyskytne chyba pri prekročení limitných podmienok, pri zápise na disk a pod.

#### 4 Experimentálne výsledky

Na obr. 5 a obr. 6 sú uvedené príklady nameraných statických charakteristík hydraulického systému. Vpravo je zachytený vzťah

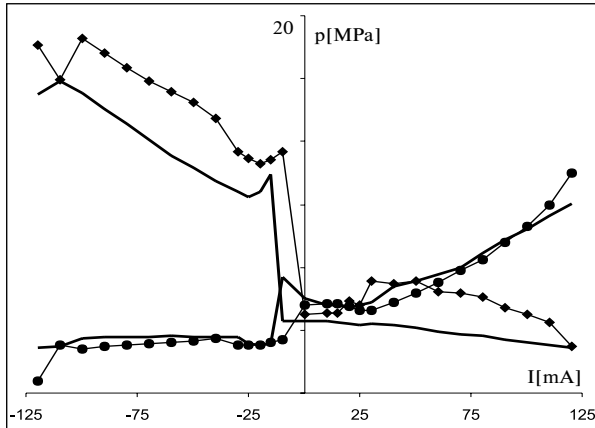
frequency of periodic signal is selected in part G. Part H enables to slide median around generated signal is oscillated (offset setting). The waveform of the generated signal (sine wave, sawtooth, triangle wave, square wave or constant signal) is offered in part I. Measured values are written, after completion of program run, to the PC memory by option of *Save to Disk* rectangular button. The *Stop* rectangular button attends on stop of running program in any time.

The front panel has an accompanying block diagram which is the equivalent of a program. For each object that is inserted into the front panel, there exists a terminal displayed in the block diagram (Fig.4). Terminals are wired together to show the flow of data within the block diagram. The quotation inside of terminals means the type of data format which flow from the component of front panel through the terminal to the block diagram or vice versa. It is possible to change the data format and its precision and it can be real number, complex number or integer with simple or double precision. The terminal is connected with other components such as operator, constant, etc. For full-valued function of the program, it is necessary to use subroutines (SubVI) in a block diagram. SubVI are independent programs connected by the connector. Subroutines used in our virtual instrument to measure the static characteristic have the following significance:

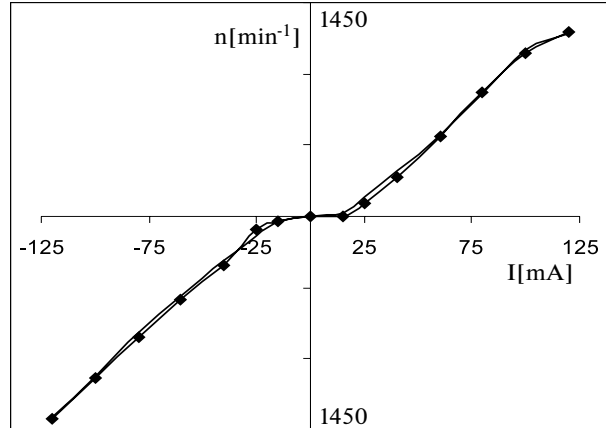
- *AI Config* configures an analog input operation for a specified set of channels (number and group of channels, limits of voltage, gain). This VI configures the hardware and allocates a buffer for a buffered analog input operation.
- *AO Config* configures the output channel list, limits of voltage and allocates a buffer for analog output operation.
- *AI Start* sets the scan rate, the number of scans to acquire and the trigger conditions (external start signal) and then starts an acquisition. We use default values: continuous acquisition without the trigger and limitation the number of scans per one measurement.
- *AO Start* sets the update rate and then starts the generation of control signal.
- *AI Read* reads given data from a buffered data acquisition. In our case *AI Read* reads 1000 values of data from input buffer.
- *AI Clear* and *AO Clear* clears the analog input and output task associated with *taskID*.
- The identifier *taskID* connects group SubVI just to one kind of task (AI, AO...). Each SubVI starts the run only in case of valid data on input and the identifier *taskID* ensures the run of Sub VI in serial mode (SubVI *AI Start* starts the run after finish of process *AI Config*). Parallel running is accepted for different kind of tasks.
- *Error* informs the user if an error appears during the run of program (overflow limits conditions, corrupt save to disk, etc.).

#### 4 Experimental results

Figure 5 and Figure 6 present examples of measured static characteristics of hydraulic system. On the right side is the relation between the rate of maximum output revolution and the



Obr. 5 Charakteristika tlakov  
Fig. 5 Pressure characteristics



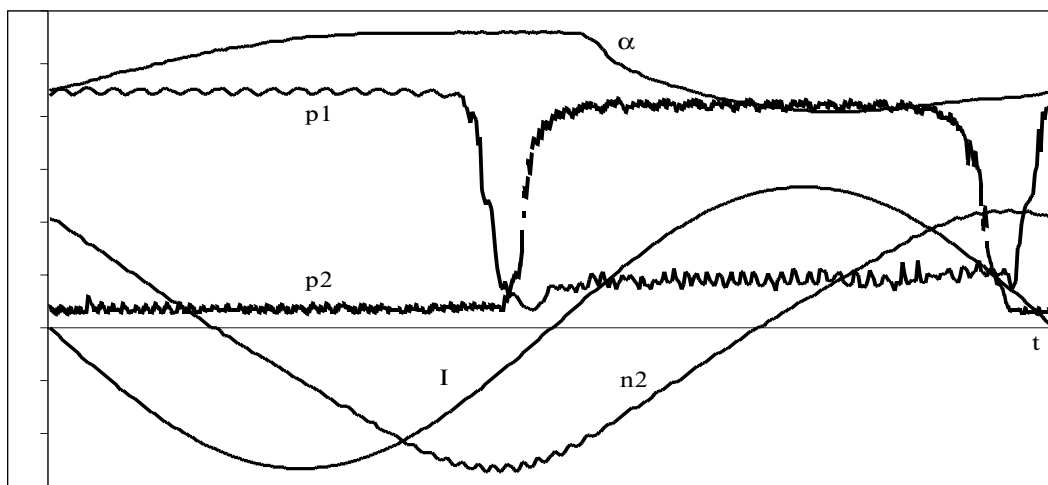
Obr. 6 Otáčková charakteristika  
Fig. 6 The revolution characteristic

medzi výstupnými otáčkami hydromotora  $n_2$  meranými snímačom S9 a vstupným elektrickým prúdom  $I$  [mA]. Graf vľavo reprezentuje pomer maximálneho tlaku s tlakmi  $p_1$  a  $p_2$  vo vysokotlakovej a nízkotlakovej časti obvodu v závislosti od vstupného elektrického prúdu  $I$  [mA]. Meranie bolo vykonané pri vstupných otáčkach hydrogenerátora  $1450 \text{ min}^{-1}$ . Vstupný elektrický prúd sa menil po 20 mA v rozmedzí +120 mA až -120 mA (krivky preložené bodmi) a -120 mA až +120 mA (krivky bez preložených bodov). Výsledky ukazujú uspokojivú zhodu s hodnotami meranými prístrojmi v minulosti [5], [6].

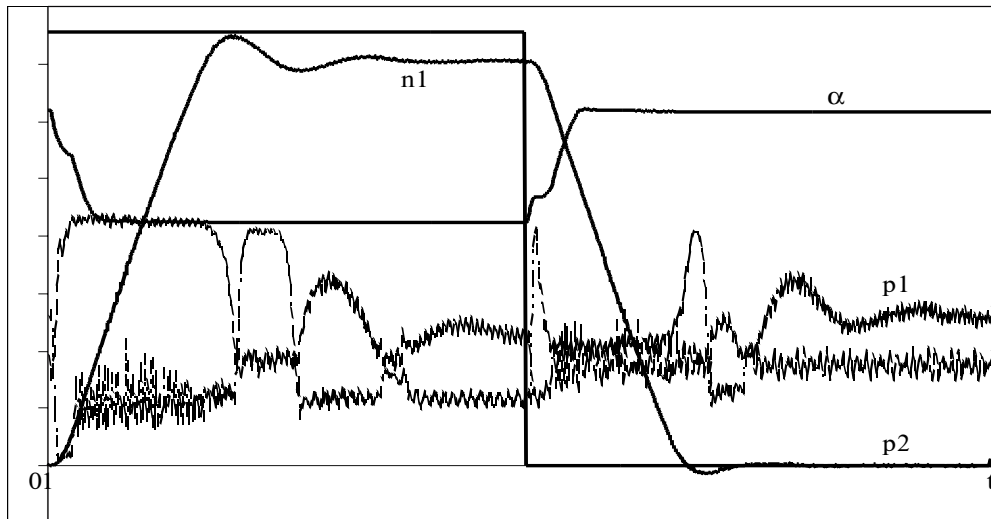
Obr. 7 a obr. 8 reprezentujú grafické príklady meraných dynamických charakteristík hydraulického systému. Na prvom je odozva hydraulického systému na sinusový signál. Znáznorené sú priebehy tlakov  $p_1$  a  $p_2$ , výstupných otáčok hydromotora  $n_2$  a polohy dosky hydrogenerátora  $\alpha$ . Meranie bolo vykonané pri vstupných otáčkach hydrogenerátora  $1450 \text{ min}^{-1}$ , vstupnom prúde +20 mA a frekvencii 0,2 Hz. Nasledujúci graf reprezentuje odozvu

output revolution  $n_2$ , measured by sensor S9, and the input current  $I$  [mA]. The graph on the left represents the rate of maximum pressure and pressures  $p_1$  and  $p_2$  with an input current  $I$  [mA]. The measurement was taken under input hydraulic pump revolve  $1450 \text{ min}^{-1}$ . The input current was changed from +120 mA to -120 mA (curves with points) and -120 mA to +120 mA (curves without points) in 20 mA intervals. Results show satisfactory comparison with values measured by traditional instruments in the past [5], [6].

Figure 7 and Figure 8 present graph examples of measured dynamic characteristics of the hydraulic system. The first is the sine wave response of the hydraulic system. Present are pressures  $p_1$  and  $p_2$ , output revolutions of hydromotor and pump plate displacement  $\alpha$ . The measurement was taken under input hydraulic pump revolve  $1450 \text{ min}^{-1}$ , input current +20 mA, frequency 0.2 Hz. The second graph represents the step response



Obr. 7 Odozva hydraulického systému na sinusový signál  
Fig. 7 The sine wave response of hydraulic system



Obr. 8 Odozva hydraulického systému na jednotkový skok  
Fig. 8 The step response of hydraulic system

na jednotkový skok. Meranie bolo vykonané pri vstupných otáčkach hydrogenerátora  $1450 \text{ min}^{-1}$ , vstupnom prúde - 85 mA a frekvencii 0,05 Hz. Výsledky sú podkladom pre analýzu hydraulického systému a prípravu riadiaceho programu v prostredí LabVIEW.

## 5 Závery

Dnešný osobný počítač sa stáva výkonným, viacúčelovým laboratórnym nástrojom, ktorý môže nahradiť drahé, zastaralé a poruchové zariadenie. V uvedenom článku je opísaná jedna z možností použitia softvéru produktu LabVIEW spoločnosti National Instrument na meranie tlaku hydraulického systému, vstupných a výstupných otáčok a polohy dosky hydrogenerátora. Vďaka počítačovo založenému systému merania je riešenie presne prispôbené potrebám daného meraného systému s rýchlou a jednoduchou možnosťou zmeny parametrov. Je tiež možné zostaviť nespočítateľné množstvo prístrojov. LabVIEW sa stáva v laboratóriu pomocou, ktorá v porovnaní s tradičným spôsobom merania zvyšuje produktivitu experimentovania. Tento článok je súčasťou grantovej úlohy VEGA No.1/4268/97.

Recenzenti: F. Drkal, K. Honner

of hydraulic system. The measurement was taken under input hydraulic pump revolve  $1450 \text{ min}^{-1}$ , input current -85 mA and frequency 0.2 Hz. Results are base for analysis of hydraulic system and preparation of LabVIEW control program.

## 5 Conclusions

Today, the personal computer has become a powerful, multipurpose laboratory tool that can replace expensive, outdated, easily broken equipment. This paper described one of the possibilities of using a software product LabVIEW from National Instrument Company to measure the pressure of a hydraulic system, input and output revolutions and displacement of pump plate. Through the power of this computer based tool, a solution is exactly suited to the measured system needs with fast and easy possibility to change parameters. With LabVIEW, it is possible to build an infinite number of instruments on the personal computer. Compared with a similar traditional measurement, using LabVIEW in the laboratory makes research more productive. This paper is part of the scientific grant VEGA No.1/4268/97.

Reviewed by: F. Drkal, K. Honner

## Literatúra - References

- [1] STRÁŽOVEC, I., KRIŠŠÁK, P.: Využitie multifunkčnej karty AT-MIO16 v experimentálnej oblasti. In. XIX. Seminár ASŘ 96, VŠB TU Ostrava, 1996, p. 7/1-7/5.
- [2] STRÁŽOVEC, I., KRIŠŠÁK, P., BOŽEK, J.: Grafické programovanie v LabVIEW. In. Zborník „XVII. Medzinárodnej vedeckej konferencie katedier mechaniky tekutín a termomechaniky“, Herľany 1998, p.179-182.
- [3] National Instruments Corporation: Measurement and Automation Catalogue. Printed in USA, 1999.
- [4] National Instruments Corporation: LabVIEW - User Manual. Printed in USA, 1997.
- [5] LACK, T., GERLICI, J.: Automatizovaný zber a vyhodnocovanie dát pri skúškach spaľovacích motorov. In: XXV. konferencie kateder a pracovísk spaľovacích motorů českých a slovenských vysokých škol, str. 205 - 210, Praha 1994.
- [6] JANDAČKA, J.: Riadenie hydrostatického pohonu mobilného pracovného stroja. KDP, VŠDS Žilina, 1993