

EGY SZERVOPNEUMATIKUS RENDSZER IDENTIFIKÁCIÓJA ÉS SZABÁLYOZÁSA TÁVOKTATÁSHOZ[⊗]

IDENTIFICATION AND CONTROL OF A SERVO-PNEUMATIC SYSTEM IN DISTANT LEARNING

SZÉLL Károly¹, CZMERK András², PÉNTEK Zsigmond³

¹doktorjelölt, ²tanársegéd, ³doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék
szell@mogi.bme.hu, czmerk@mogi.bme.hu, zsigmond.pentek@gmail.com

Kivonat: Egy nemlineáris rendszer identifikációja igen komoly mérnöki kihívás. Ez a publikáció egy pneumatikus munkahengert mutat be, ahol a kísérleti berendezés az internetről is elérhető. Az internet és az információs technológia fejlődésével a kutatók és hallgatók számára szerte a világban egyre könnyebbé vált a különféle oktatási és kutatási anyagok elérése. Manapság már számos nemzetközi távoktatási program létezik, melyeknek célja, hogy a hallgatók olyan tudományos anyagokhoz férhessenek hozzá, melyek könnyen megérthetőek még akkor is, ha otthon, egyedül tanulmányozzák azt. Az itt bemutatott rendszer különlegessége, hogy lehetővé teszi a napjainkban legnépszerűbb programozási nyelvek, valamint csúcstechnológia alkalmazását a távoktatásban.

Kulcsszavak: pneumatikus munkahenger, FPGA környezet, mérés technológia

Abstract: The identification of a nonlinear system is a great challenge. This paper presents a servo-pneumatic experimental set-up available via internet. The advent of the Internet and other information technologies make teaching and research readily available to scholars and students across the globe. There are already many international distance learning programs with the aim to provide students with scientific materials that are easy to understand even alone at home. The specialty of this system is, that most of the nowadays used programming languages and higher technology might be applied.

Keywords: pneumatic cylinder, FPGA environment, measurement

1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre népszerűbbé válik a távoktatás lehetősége [1]-[4]. A modern felfogás szerinti „élethosszig tartó tanulás” új igényeket támaszt arra, hogy az emberek a mindennapos munka mellett is új kompetenciákat szerezhessenek. Így egyre többen választják az otthoni tanulást a megszokott osztálytermi előadásokkal szemben. Ebben ad nagy segítséget az információs technológia gyors fejlődése, mely nap mint nap kínál újabb, kényelmesebb és hatékonyabb megoldásokat a távoktatás számára.

Célunk egy olyan rendszer építése volt, ahol a diákok az elméleti anyag mellett egy internetes felületen lehetőség szerint felhasználóbarát környezetben a gyakorlati feladatokat is elvégezhetik. A kísérleti berendezést egy korábbi DC szervomotoros projekt alapjaira építve fejlesztettük tovább, melyhez egy animált oktatási segédlet is rendelkezésre állt. Tekintve, hogy az egyetemek kurzusain egyre több külföldi diák vesz részt, illetve napjainkban a legelterjedtebb nyelv az angol, így az oktatási anyagot is angol nyelven dolgoztuk ki.

A következő fejezetben a kísérleti berendezés koncepciójáról lesz szó. A harmadik fejezet a pneumatikus rendszert fogja bemutatni. A negyedik fejezet a biztonságkritikus kérdésekkel

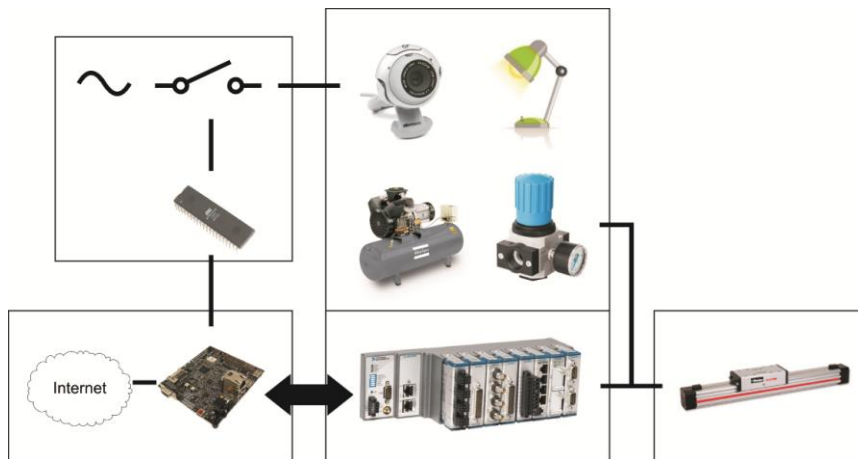
[⊗] Szaklektorált cikk. Leadva: 2014.10. 14., Elfogadva: 2014.11. 14.
Reviewed paper. Submitted: 14.10, 2014. Accepted: 14. 11. 2014.
Lektorálta: TAMÁS PÉTER / Reviewed by Péter TAMÁS

foglalkozik. Az ötödik fejezet a rendszer szabályozás- és mérés technikai oldalát írja le. A hatodik fejezetben pedig arról lesz szó, hogyan alkalmazható a rendszer az oktatásban.

2. KONCEPCIÓ

A rendszer négy fő részből áll. A Panda-board felelős a stabil internetes elérhetőségért, míg az Atmel-mikrokontroller a rendszer biztonságkritikus részét irányítja. A National Instruments cRIO-ja a rendszer „agya”, mely a méréseket és a szabályozást felügyeli. A negyedik elem pedig maga a szabályozott pneumatikus munkahenger.

Ez a mérési összeállítás számtalan lehetőséget rejt magában, hogy különféle szabályozási metódusokat teszteljünk. Lehetőséget ad például a diákok számára, hogy pár sor begépelésével megírják első szabályozási programjukat, és a munkahenger valós mozgását webkamerán keresztül követhessék. Ahhoz, hogy a diákoknak ne kelljen mindjárt a szabályozás mélyebb rejtelseibe belevetniük magukat, egy keretprogramot dolgoztunk ki, melyben csak a számukra éppen érdekes részeket kell beállítaniuk, példák alapján kitölteniük, így egyszerű lépéseket követve válik egyre érthetőbbé a rendszer működése.



1. ábra Konceptió

Az eredeti kezelő program lehetőséget adott a rendszer bármely paraméterének beállítására, mely az oktató számára hasznos eszközöket rejt ugyan, de a hallgatók számára a sok új információ, beállítási lehetőség félrevezető lehet. Így a tanuló számára ugyan még látható, hogy a keretprogram milyen bemenő paramétereket használ fel, azonban ki vannak emelve azon részek, melyekkel az adott feladatban valóban foglalkoznia kell, mint például a mágnesszelepek vezérlőfeszültsége. Ahhoz, hogy a hálózati terhelést csökkenthessük a rendszer nem „távoli asztal elérésén” alapul, hanem egy webes felületet alakítottunk ki, mely az adatforgalmat a ténylegesen szükséges szintre szorítja. Ha a beállítások megtörténtek, a megfelelő gomb megnyomásával a konfigurációs adatokat megkapja a szerver gép, mely elindítja a mérést. Webkamerán követhetjük figyelemmel a mozgást, majd a mérés végeztével a mérési adatok letölthetővé válnak. A rendszer kezeli továbbá azt az esetet is, ha egyszerre több kliens szeretne hozzáférni a mérési összeállításhoz. A kliensek kérései egy prioritási sorrend szerint várnak, míg megkapják a saját géphasználati jogosultságukat.

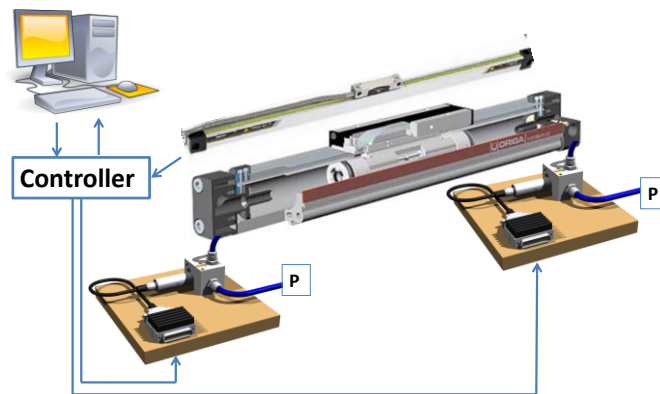
3. SZERVOPNEUMATIKA

Számos előnyüknek köszönhetően, melyek közt kiemelten alacsony beszerzési költségük, megbízhatóságuk, kiemelkedő teljesítmény-súly arányuk említendő, a pneumatikus rendszerek alkalmazása az iparban igen elterjedt. Modelljezésük és szabályozásuk a nemlineáris működési sajátosságaik miatt komoly kihívás, így pozícionálásuk hosszú ideig a löket két végpontjára

korlátozódott. A köztes pontokra való pozicionálás először a 90-es években vált megoldhatóvá az iparban is általánosan elterjedt PID szabályozás révén. Ez a megoldás azonban csak szűk korlátok között alkalmazható, melynek oka a rendszer paraméter-érzékenységében és a jelentős holtidőkben keresendő [5]-[8].

Pneumatikus rendszerek esetén a nemlinearitás többek között a levegő nemlineáris összenyomhatóságából, a szelepnitítás, -zárás során fellépő nemlineáris szelepkérszmetmetzet változásból, valamint a nemlineáris hőátadási folyamatokból származik, azonban a legjelentősebb nemlineáris jelenség mégis a súrlódás. A súrlódás egy minden mechanikai rendszer működését befolyásoló jelenség, mely kifejezetten megnehezíti a precíziós mozgásokat. Ugyan a súrlódási jelenségek egyéb berendezések esetén is fellépnek, azonban a pneumatikus rendszerek esetében a dugattyú elmozdulása a kamrák nyomásának függvényében jön létre, mely a dugattyúra gyakorolt erőkifejtést tekintve alacsony merevségűnek, azaz rugalmasnak tekinthető, hatványozottan érvényre juttatva a mozgató tömeg, valamint a súrlódási jelenségek pozicionálásra gyakorolt hatását. Ezek ismeretében kijelenthető, hogy egy szervopneumatikus rendszer a szabályozástechnikai ismeretek bemutatására, vizsgálatára kifejezetten alkalmas. A pneumatikus rendszer ezek mellett nagyon jó kísérleti berendezés a stick-slip jelenségének bemutatására is.

Láthatjuk, hogy a pneumatikus munkahenger precíziós pozicionálása számos tényező függvénye. Az éppen alkalmazni kívánt szabályozó paramétereinek beállítására első lépésként egy, a működést helyesen leíró modell szolgálhat. A rendszer a következő fő részekből épül fel:

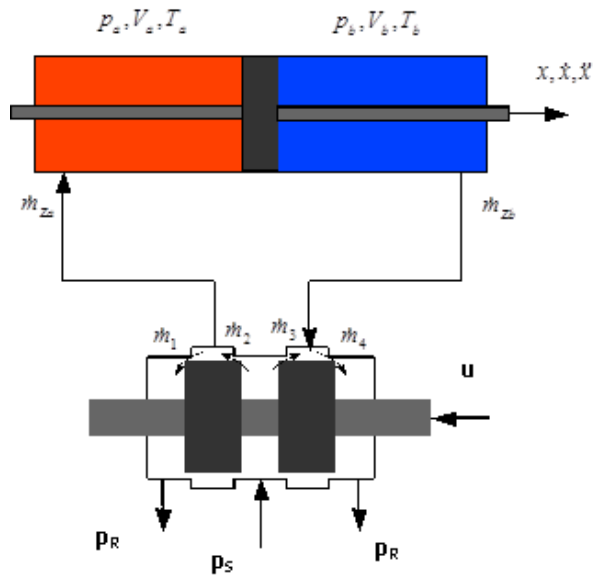


2. ábra Egy szervopneumatikus rendszer felépítése

A dugattyú elmozdulása, mozgása a mágnesszelepek segítségével, a kamrákba juttatott sűrített levegő hatására jön létre. A két mágnesszelepet együtt működtetjük (5/3-as szelepként funkcionálnak együtt), így a kamrákba jutó sűrített levegő áramlása szempontjából a szelepek három állapotot vehetnek fel. Zárt állapotot, mely esetben sem a kamrába be, sem a kamrából ki levegő nem áramolhat, továbbá azokat az állapotokat, amikor a tápnyomást (p_S) vagy a környezeti nyomást (p_R) kapcsolják az adott kamrára (lásd 3. ábra). A jelenlegi rendszerben a levegő áramlásáért kamráként egy arányos szelep felel, mely a fentebb említett működéstől annyiban tér el, hogy a szelepre kapcsolt feszültség függvényében a kamrákba be-, illetve kiáramló térfogatáram fokozatmentesen állítható (a már korábban említett nemlineáris jelleggel).

4. BIZTONSÁG

A rendszer arra a célra lett kifejlesztve, hogy a hét minden napján napi 24 órában méréseket lehessen rajta folytatni felügyelő személyzet nélkül. Így nagyon fontos a biztonságkritikus kérdések szem előtt tartása, hogy elkerüljük a kritikus rendszerleállásokat, vagy a tűzveszélyt.

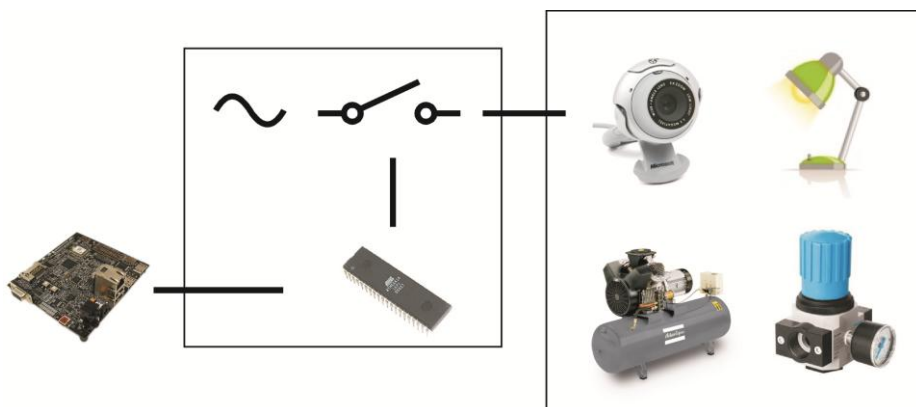


3. ábra Pneumatikus szervószelep sematikus felépítése

A Panda-board felelős az internetes kommunikációért, az adatok kezeléséért, valamint a biztonságkritikus részhez tartozó eszközök irányításáért. A fő tápellátást egy erre a célra dedikált Atmel mikrokontroller kapcsolja fel- és le. Egy egyszerű mikrokontroller esetén nem kell attól tartanunk, hogy az operációs rendszer esetleg összeomlik, vagy a hardver nem rendelkezik elég erőforrással, hogy a feladatait időben ellássa. A mikrokontroller azzal az egyetlen feladattal van ellátva, hogy vegye észre, ha bármi probléma merül fel a rendszerben, és azonnal szakítsa meg a tápellátást. Ehhez nincs is másra szükség csak egy watchdog-típusú felügyeletre a mikrokontroller és a Panda-board között. Amint a mikrokontroller nem kapja meg a megfelelő választ, vagy az késve érkezik, a rendszer veszélyforrást jelentő részeit áramtalanítja (mint például a szabályozást és a kompresszort).

A biztonságkritikus rendszer részét képezi még egy webkamera is, ami a mérések során az egyik legfontosabb vizuális visszacsatolásként szolgálhat a labor épségének megőrzéséhez. A rendszer használata közben ennek segítségével a legegyszerűbb észlelni a legtöbb hibát. Mindamelllett megadja az oktatás szempontjából fontos gyakorlati feladatok alapját is. A hallgatók implementálhatják szabályozási algoritmusukat, majd a kamera képén nyomon követhetik a munkahenger mozgását, és ezt követően már a valós mozgás élményére alapozva analizálhatják a pontos mérési eredményeket.

A rendszerben található továbbá egy dedikált fényforrás is, mely az éjszakai méréseket teszi lehetővé.



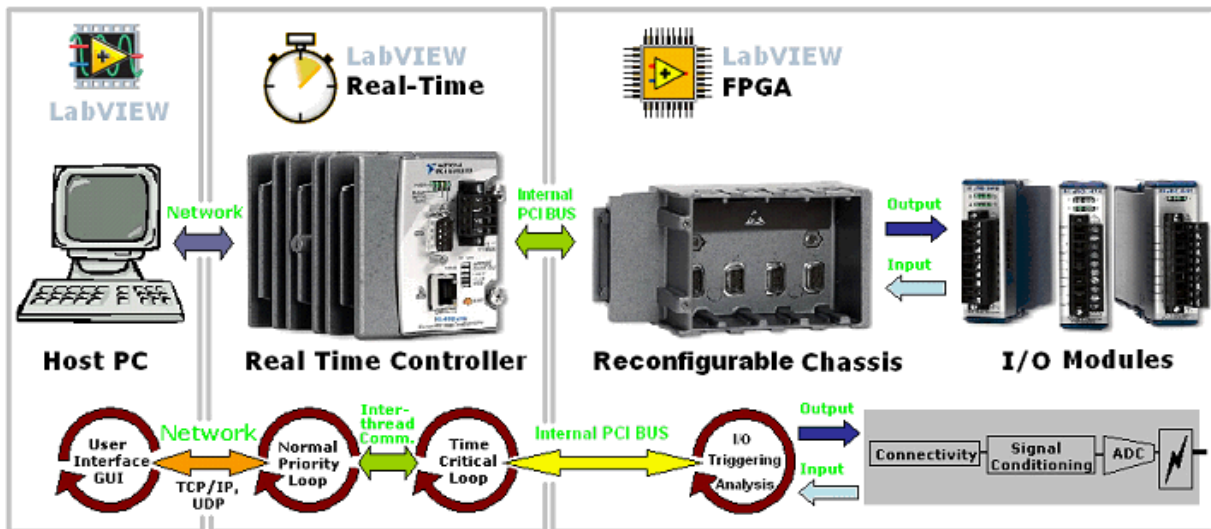
4. ábra Biztonsági megoldás

5. MÉRÉS ÉS SZABÁLYOZÁS

Az identifikáció és a szabályozás megvalósításához National Instruments termékeket választottunk. A cRIO-9073 előnyei között említhető, hogy egy olyan valós-idejű rendszert használhatunk, mely magas frekvenciával tud mintavételezni ugyanakkor könnyen tanulható a programozási nyelvre. A LabVIEW olyan grafikus programozási nyelv, mellyel a funkcionalitás megvalósításával (Block Diagram) párhuzamosan a felhasználói felületet is azonnal létrehozhatjuk (Front Panel), továbbá lehetőséget nyújt csúcstechnológias eszközök (FPGA-környezet), valamint számos napjainkban népszerű programozási nyelv használatára. Így ez a rendszer lehetőséget nyújt különféle programozási nyelvek bemutatására, szenzorok összehasonlítására és szabályozási eljárások tesztelésére az egyszerűbb Ziegler-Nichols vagy Kessler féle hangolástól egészen egy csúszómód- vagy állapotter-szabályozásig.

Ahogy napjainkban terjed az egyetemek közötti kooperáció, úgy válik egyre fontosabbá a közös laboratóriumok szerepe is. Egy japán és egy magyar egyetem kooperációjában például fontos lehet, hogy a kísérleteket ténylegesen ugyanazon a berendezésen végezhesék el. Ezáltal az adott rendszer identifikációs folyamata válhat rövidebbé, illetve az egyetemi erőforrások hasznosítása is sokkal hatékonyabbá tehető. Az itt bemutatott rendszer esetén például nem számít, hogy a kutatócsoport tagjai éppen melyik kontinensen vannak vagy, hogy az időzónáknak köszönhetően mennyire eltérő napszakban szeretnék elkezdni a kísérleteket, az aktuálisan fontos mérést bármely időpontban ugyanazon a rendszeren tudja elvégezni a kutatócsoport bármely tagja.

A mérési adatok analízisében is számtalan lehetőséget nyújt a National Instruments. Ilyen például a DIAdem szoftver, mellyel az analízis folyamata automatizálható. A 7. és a 8. ábrán bemutatjuk továbbá a TDMS File Viewer és a TDM Excel Add-In szolgáltatásokat, melyek a LabVIEW legalapvetőbb eszközei erre a célra.



5. ábra FPGA-környezet

6. OKTATÁS

A tantermi oktatással szemben a bemutatott rendszer esetén csökkenthető az emberi és hardveres erőforrásigény. A rendszert úgy alakítottuk ki, hogy csak minimális felügyeletet igényeljen, így a személyzeti terhelés viszonylag alacsony. Mivel a rendszer minden nap 24 órában elérhető, a berendezés kihasználtsága nő, ezáltal kevesebb mérőállomásra van szükség, mint egy felügyelt labormérés esetén.

A hallgatók lépésről lépésre ismerkedhetnek meg a rendszerrel. A 6. ábrán is látható keretrendszer segítségével ismerkedhetnek meg az adott feladattal és a feladathoz szükséges elméleti háttérrel. Így

járhatják végig az identifikáció és a mért adatok analízisének szükséges lépéseit, hogy végül megalkothassák első szabályozási algoritmusukat is. Mindeközben a rendszer mozgását egy webkamera segítségével is nyomon követhetik, így kapcsolva össze az elméleti háttérrel a gyakorlati tapasztalattal.

Your task is to create a PI controller!

The following parameters are available for your controller:

- CurrentPosition: Position
- OldPosition: Previous position
- OldOmega: Previous velocity
- CurrentTime: Time of sample
- OldTime: Previous sample time

Hint:

```
NewControllerData ResultData;
//Setting current position
ResultData.CurrentPosition = CurrentPosition;
// Calculate velocity
ResultData.CurrentOmega = (double)(1000*(CurrentPosition - OldPosition)/(CurrentTime - OldTime));
// Controller part begin
OmegaInt += ResultData.CurrentOmega * (CurrentTime - OldTime);
ResultData.NewTorque = P * ResultData.CurrentOmega + I * OmegaInt;
// Controller part end
return ResultData;
```

You can declare new variables, but you can not use them as a return value. Only the ResultData structure can be used!

[Run measurement and get results >>](#)

Waiting measurements in system: 3
This means, that your measurement will only be processed after these
If you encountered an error contact the laboratory chief
V2. building 433.
Phone: (+36 1) 463-2870
Fax: (+36 1) 463-2871

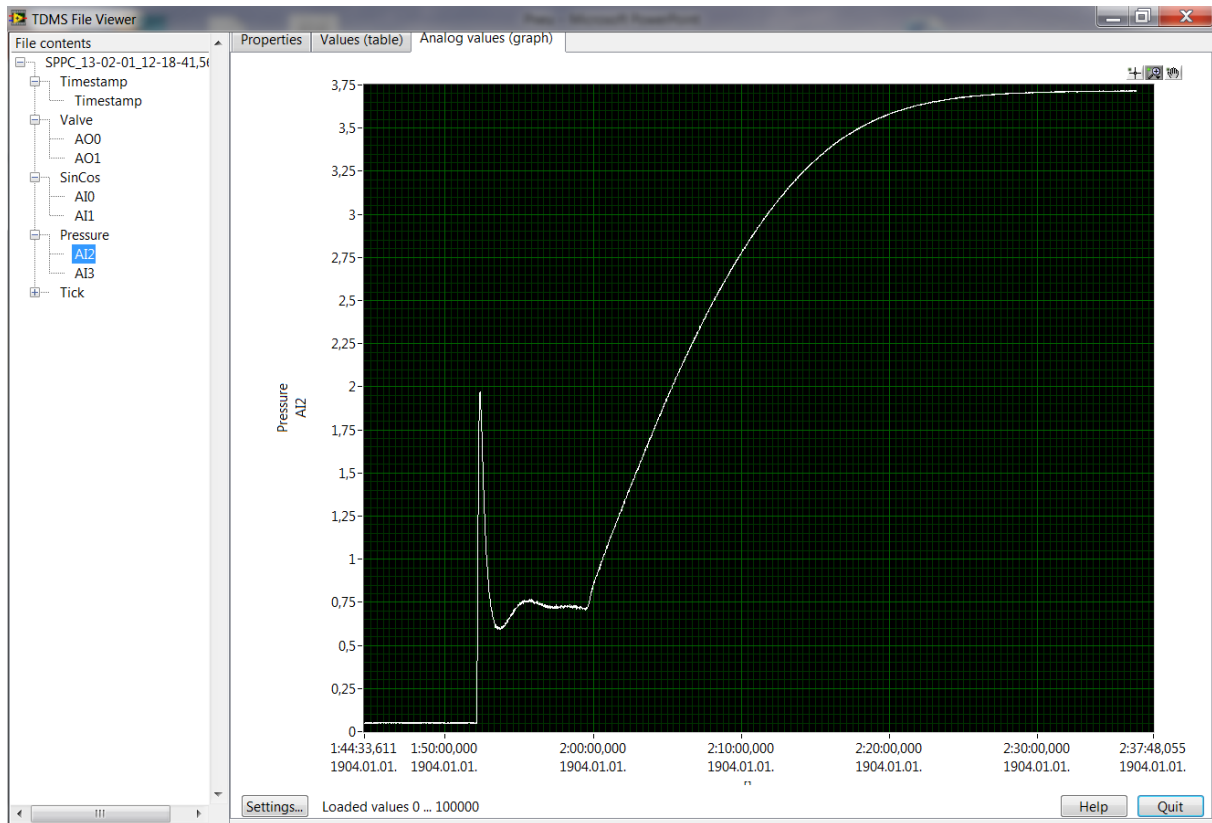
Copyright © 2007 Budapest University of Technology and Economics - Department of Automation and Applied Informatics

[Mail to webmaster](#)

6. ábra Webes felület

A kísérleti berendezés lehetővé teszi számos ipari berendezés bemutatását, illetve tesztelését. Többek között a következő témák építhetők be az oktatási anyagba az itt javasolt berendezés segítségével:

- Méréstechnika
 - pozíciómérés
 - gyorsulásmérés
 - nyomásmérés
 - térfogatáram-mérés
- Identifikáció
- Modellelés, szimuláció
- Szabályozástechnika
- LabVIEW-, MATLAB- és C-programozás
- FPGA programozás
- Pneumatikus rendszerelemek (relés illetve proporcionális mágnesszelepek alkalmazása)



7. ábra TDMS-analízis (vízszintes tengely: idő [s], függőleges tengely: nyomás [bar])

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Az itt bemutatott rendszer különlegessége, hogy lehetővé teszi a napjainkban legnépszerűbb programozási nyelvek, valamint a csúcstechnológia alkalmazását a távoktatásban, illetve az R&D szektorban. A kutatók számára lehetőséget nyújt számos hardveres és szoftveres eszköz elérésére függetlenül attól, hogy honnan és milyen időpontban szeretnék az adott kísérletet elvégezni. Oktatási szempontból pedig biztosítja a hallgatók számára az elmélet és a gyakorlat közötti kapcsolatot. A hallgatók megalkothatják saját szabályozásukat, és webkamerával nyomon követhetik a rendszer mozgását is.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők szeretnék megköszönni a Magyar Autóműszaki Felsőoktatásért Alapítvány támogatását. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a "Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben" c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja.

Root Name	Title	Author	Date/Time	Groups	Description			
SPPC_13-02-01_12-18-41,566				5				
Group	Channels	Description						
Timestamp	1							
Valve	2							
SinCos	2							
Pressure	2							
Tick	3							
Timestamp								
Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	Start Index	
Timestamp	DT_DOUBLE		5800					
Valve								
Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	NI_ArrayColumn	Start Index
A00	DT_DOUBLE		5800				0	
A01	DT_DOUBLE		5800				1	
SinCos								
Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	NI_ArrayColumn	Start Index
Ai0	DT_DOUBLE		5800				0	
Ai1	DT_DOUBLE		5800				1	
Pressure								
Channel	Datatype	Unit	Length	Minimum	Maximum	Description	NI_ArrayColumn	Start Index

8. ábra Excel-analízis

2. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KORONDI, P., SZIEBIG, G.**, Complete multimedia educational program of a DC servo system for distant learning, 2007
- [2] **HAMAR, J., JARDAN, R. K., KORONDI, P., NAGY, I., SEPA, Z., SUTO, Z., ZABAN, K., WEISS, H.**, Teaching and learning nonlinear dynamics by multimedia, in Proc. Electrimacs 2005, Hammamet, Tunisia, Apr. 2005.
- [3] **BARTAL, P., HAMAR, J., JARDAN, R. K., KORONDI, P., NAGY, I., SEPA, Z., SUTO, Z., ZABAN, K., FUNATO, H., MASADA, E., OGASAWARA, S.**, Learning multimedia software for teaching nonlinear dynamics, in Proc. Control in Power Electronics and Motion Control (IPEC'05), Niigata, Japan, Apr. 2005.
- [4] INETELE Project, <http://152.66.22.161/animation/>
- [5] **PIEPENBRINK, A.**, Experimentelle Identifikation und Regelung servopneumatischer Antriebe, Dissertation Kassel (1996)
- [6] **GYEVIKI, J.**, Dynamics of a Servopneumatic Positioning System (2003)
- [7] **SÁROSI, J.**, Accurate Positioning of Pneumatic Artificial Muscle at Different Temperatures Using LabVIEW Based Sliding Mode Controller, 9th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2014), Timisoara, Romania, 15-17 May, 2014, ISBN 978-1-4799-4693-8, ISBN 978-1-4799-4694-5, Pendrive, pp. 85-89
- [8] **SÁROSI J.**, New Approximation Algorithm for the Force of Fluidic Muscles, 7th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI 2012), Timisoara, Romania, 22-24 May, 2012, E-ISBN 978-1-4673-1012-3, Print ISBN 978-1-4673-1013-0, ISBN 978-1-4673-1014-7, Pendrive, pp. 229-233