

**Controlul presiunii dinamice în procesul de
pulverizare reactivă în vid
~ Sistem SCADA ~**

Profesor:
Dr. ing. Traian TURC

Masterand:
FEKETE Albert-Zsombor
MSE, anul I.

Introducere

În *Laboratorul Internațional de Cercetare în Fizică* din cadrul Facultății din Tîrgu-Mureș al Universității Sapiientia, fondat în colaborare cu Universitatea Technică din Tokyo, se cercetează domeniul starturilor subțiri nanocompozite rezistente la uzură, cu scop industrial.

Straturile subțiri de compoziție nitrură de titaniu (TiN_x), respectiv oxid de titaniu (TiO_y) se realizează cu metoda pulverizării reactive de tip magnetron. Compoziția și structura straturilor obținute depinde de mai mulți factori, de exemplu debitul gazelor inerte și reactive de lucru, puterea de pulverizare, viteza creșterii stratului, precum și presiunea dinamică din camera de vid.

Succesul, dar și reproductibilitatea procesului de pulverizare depinde de măsurarea și controlul factorilor amintiți mai înainte. Trebuie subliniat că acești factori sunt puternic interdependenți, deci se impune proiectarea și utilizarea unor structuri de reglare sofisticate [1,4,7,8,10].

Parametrul ales de către mine este presiunea dinamică.

Conceptul presiunii dinamice în camera de vidare

În schema de bloc prezentat în Fig. 1, se identifică debitele de intrare și de ieșire care influențează presiunea dinamică care este compusă din presiunile parțiale ale gazelor prezente în incintă.

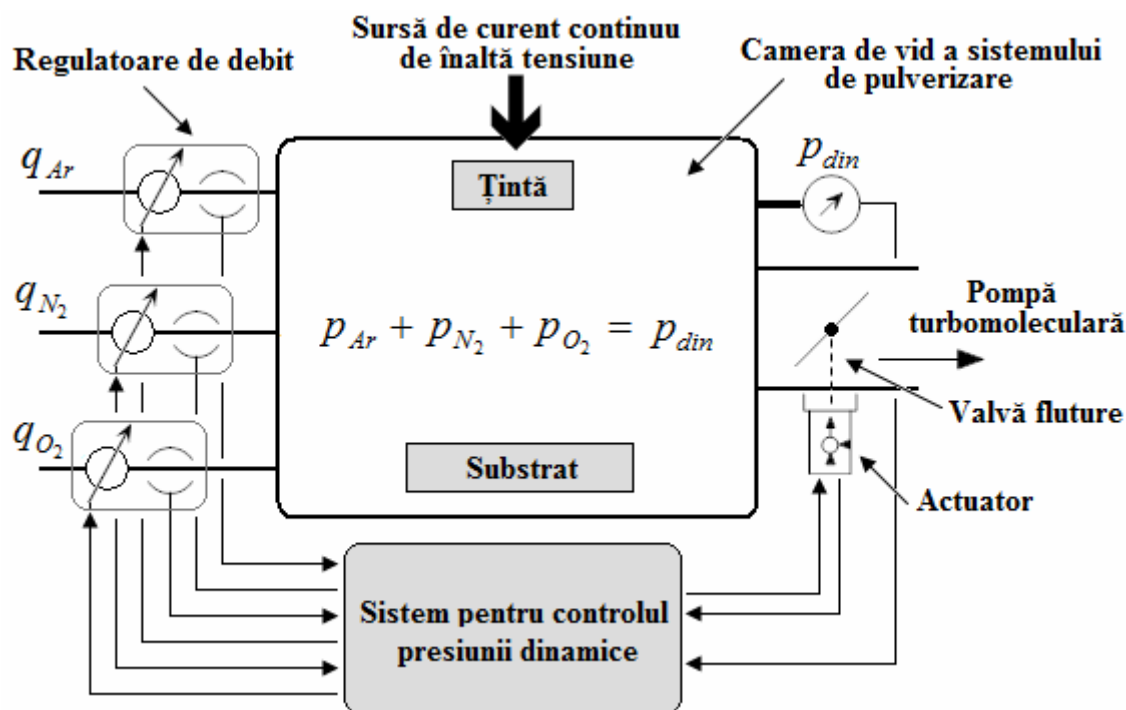


Fig. 1 – Schema de bloc a sistemului de pulverizare reactivă

În camera de vidare gazele inerte și reactive produc presiuni parțiale, suma cărora redă presiunea dinamică, măsurată cu un traductor de presiune tip capacitiv. Astfel presiunea dinamică reprezintă mărimea măsurată în procesul de reglare studiat. Nivelul vidului depinde de capacitatea de pompare a pompei turbomoleculare cu debit de pompare constant. Pentru influențarea capacității de pompare, este folosită o valvă de tip fluture (clapetă), extinsă cu un actuator

de tip electromecanic, care are rolul de a transforma semnalul electric de comandă în poziție mecanică.

Aproximativ 90% din presiunea dinamică sunt date de debitul gazului inert (argon), restul fiind compus din presiunile parțiale ale gazelor reactive, de exemplu azot și oxigen. Pe parcursul procesului de pulverizare, gazul inert are rolul de bombardare a țintei metalice, fără a intra în reacție chimică cu acesta. Spre deosebire,

particulele gazului sau a gazelor reactive intră în reacție chimică cu compusul metalic, cu rolul de a forma o compoziție stoichiometrică. Ca un efect nedorit, pe suprafața țintei se depune un strat de nitrură sau oxid, numit și fenomen de otrăvire a țintei. Acest fenomen are un puternic efect negativ asupra eficienței de pulverizare.

Prin izolarea electrică a catodului, acesta ajunge din starea metalică în stare nitridată, astfel se produce modificarea semnificativă a impedanței plasmei [4,7,8]. Pentru a putea ține procesul într-un punct de lucru dorit, se impune menținerea presiunii dinamice în limite foarte precise.

În această lucrare aş dori prezint pe scurt proiectarea unui RTU şi realizarea unui sistem SCADA în mediu CVI LabWindows 9.

Objective:

- Proiectarea și realizarea practică a unui sistem încorporat (RTU) în care sunt integrate subsisteme pentru realizarea măsurărilor, comunicării, afișării locale. Unitatea hardware reprezintă o platformă pentru rularea algoritmilor de control.
- Proiectarea unui actuator.
- Realizarea unor măsurători practice, pe baza cărora s-a identificat și s-a realizat modelul dinamic și simularea sistemului.
- Proiectarea, acordarea și implementarea unor structuri de reglare (PID și Fuzzy).
- Realizarea unui sistem SCADA, cu ajutorul căruia procesul de pulverizare poate fi monitorizat și controlat. Una dintre cele mai importante funcții este archivarea datelor.

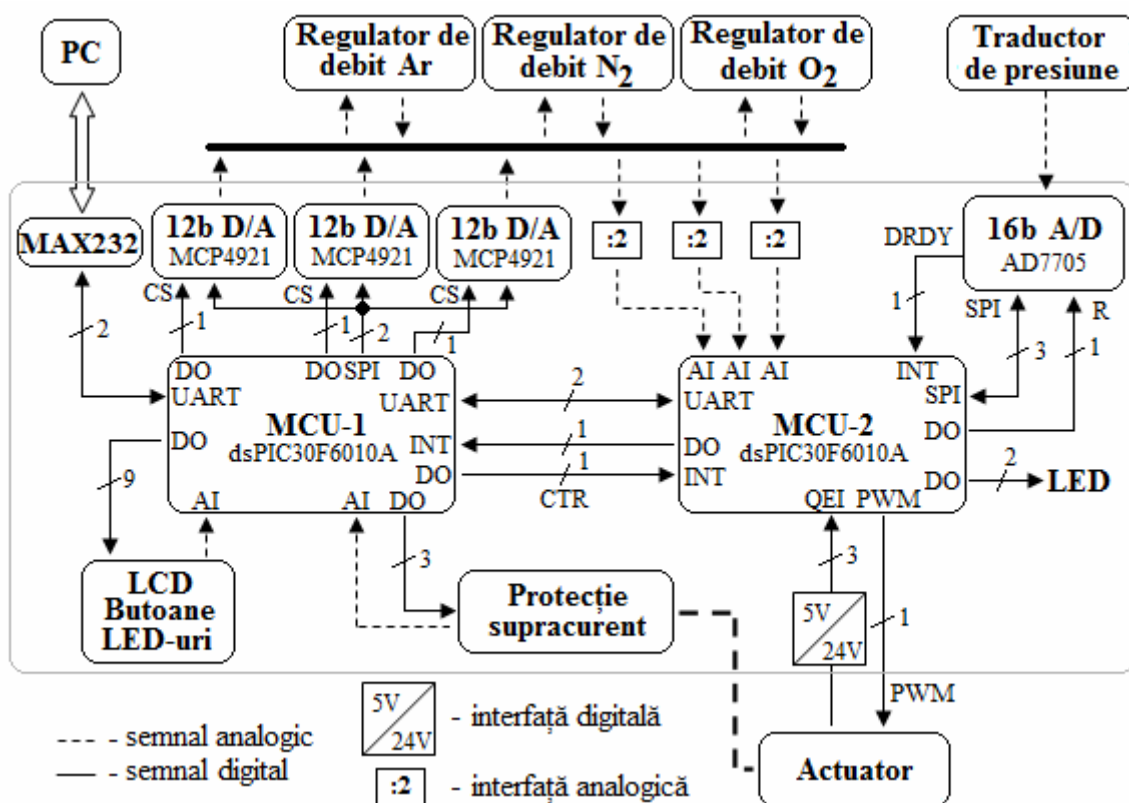


Fig. 2 – Schema de bloc a sistemului încorporat

Proiectarea sistemului încorporat (RTU)

Sistemul electronic trebuie să asigure o platformă stabilă pentru rularea diferitelor programe de comandă, cum ar fi algoritmi de control de tip PID și Fuzzy. Pe lângă scopul

principal, are rolul de a afișa pe LCD-ul încorporat starea sistemului și cei mai importanți parametri. S-au impus condiții de proiectare stricte în vederea asigurării compatibilității între sistemele externe utilizate [2].

Pentru măsurarea, prelucrarea și reglarea parametrilor procesului am dezvoltat un sistem încorporat dual-core cu două microcontrolere, prezentate în Fig. 2,3. [5]

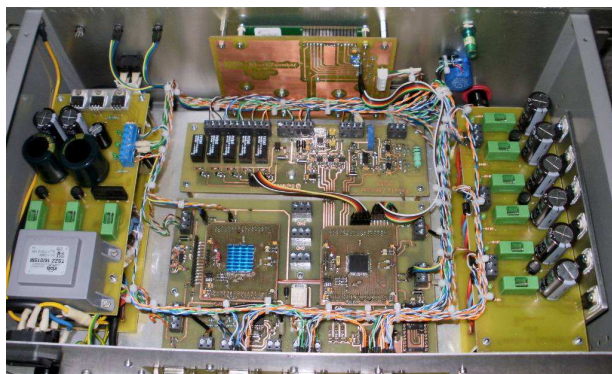


Fig. 3 – Sistemul încorporat realizat practic (RTU în carcasă standard 19'')

Microcontrolerele utilizate sunt de tip dsPIC30F6010A. O parte integrantă a lucrării reprezintă proiectarea, calibrarea și realizarea unor măsurători a actuatorului.

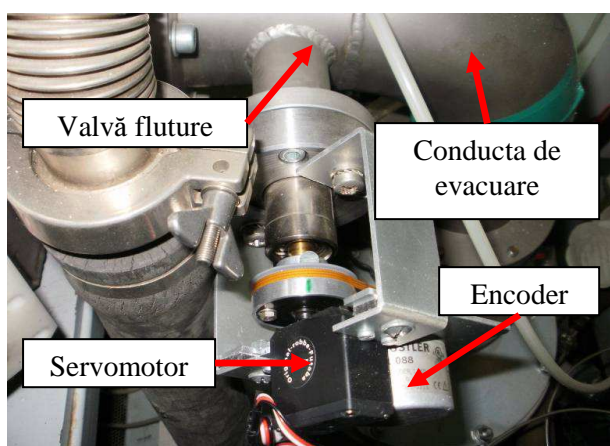


Fig. 4 – Actuator

Sistemul actuator (Fig. 4) este compus dintr-un servomotor de curent continuu, a cărui buclă de reacție se închide printr-un encoder incremental (Hengstler RI41) de

mare rezoluție - $Re z = 212 \left[\frac{\text{imp}}{1^\circ} \right]$. S-a studiat răspunsul servomotorului la semnale treaptă, rezoluția și eroarea staționară de poziție. Pe baza analizei putem declara, că servomotorul de producție Futaba, tip S3152 asigură un comportament satisfăcător din punct de vedere a procesului de reglare.

Sistemul SCADA (HMI)

Pentru afișarea și stocarea datelor s-a realizat un program tip SCADA rulat pe un calculator de proces, a cărui interfață grafică este prezentat în Fig. 7. Aplicația a fost realizată în mediu CVI LabWindows 9 în limbaj C. Rata de actualizare a aplicației este de 150ms realizat cu un Timer (Fig. 5).

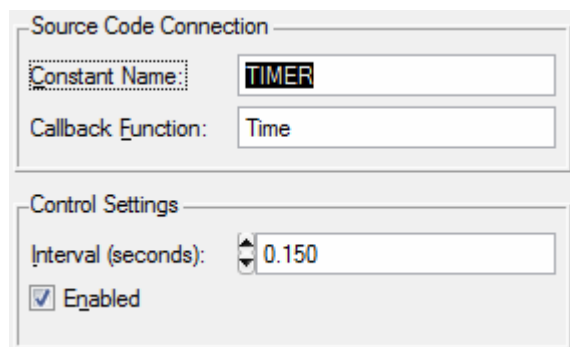


Fig. 5 – Timer pentru realizarea timpului de eșantionare

Cu această configurație, funcția Time (**Callback Function**) este executat în mod automat în fiecare 150ms.

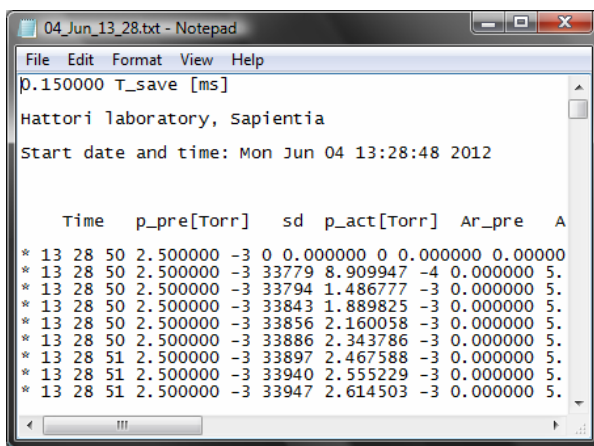
```
int CVICALLBACK Time (int panel, int control,
int event, void *callbackData, int eventData1, int
eventData2)
{
    switch (event)
    {
        case EVENT_TIMER_TICK:

            // Cod

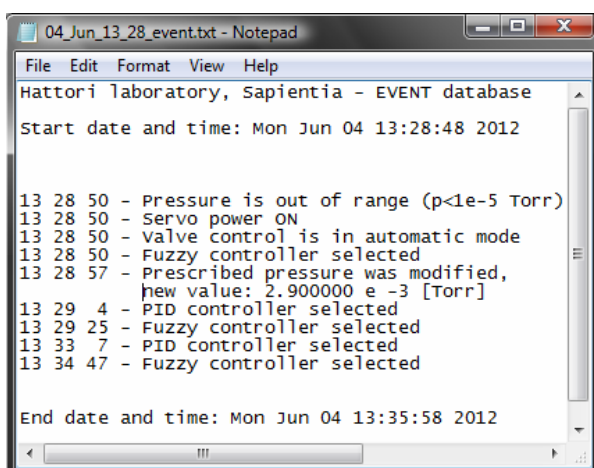
            break;
    }
    return 0;
}
```

În această funcție sunt incluse următoarele sarcini : actualizarea elementelor grafice, archivarea datelor, cerere de date de la RTU.

Pentru posibilitatea reevaluării parametrilor procesului s-a realizat un algoritm de stocare automată a datelor. Fiecare set de măsurători are un identificator de tip timp absolut. Un set de măsurători conține 16 date separate, cum ar fi: presiunea dinamică măsurată și prestabilită, debitele gazelor reactive și inerte, poziția valvei tip fluture și parametrii regulatorului de presiune tip PID. Fișierele .txt sunt create în mod automat la fiecare pornire a aplicației și după cum se poate vedea, numele fișierului conține data și ora. Fișierele sunt salvate într-o arhivă prestabilită și pot fi evaluate cu ajutorul unei aplicații incluse în aplicația SCADA sau cu ajutorul Excel-ului.



Automa se crează un alt fișier de tip Event log, în care sunt stocate stările sistemului și toate modificările efectuate:



După cum se observă pe Fig. 7, interfața grafică este realizată în așa fel, încât datele măsurate de sistemul încorporat sunt afișate cu ajutorul unor elemente atât numerice, cât și grafice. Sistemul electronic reprezintă o unitate autonomă din punctul de

vedere al funcționării, care realizează controlul presiunii dinamice fără ajutorul calculatorului de proces, însă cu ajutorul acestuia, toți parametrii mășurați ai procesul de pulverizare pot fi salvați în fișiere situate într-o arhivă centrală. Pentru procesarea ușoară a fișierelor create în mod automat, s-a realizat în cadrul aplicației SCADA o altă interfață grafică. Cu ajutorul programului se poate studia nu numai întregul fișier, ci și o parte dorită a acestuia.

Comunicarea sistemului cu unitatea hardware momentan este realizat prin RS-232. Tipul comunicării este de tip master-slave, unde partea master este aplicația SCADA. În fiecare 150ms programul trimite o cere spre unitatea hardware. RTU-ul la fiecare cerere trimite înapoi un pachet de date (24 byte). La nivelul aplicației, am instalat un ComCallback (interrupt function) care este executat în mod automat doar atunci când pufferul de intrare are 24 de bytes.

// Declarations

```
notifyCount = 24; /* Wait for at least 24 bytes in
queue. */
eventMask = LWRS_RECEIVE;
```

// In main function

```
InstallComCallback (PortNr, eventMask,
notifyCount, eventChar, ComCallback, 0);
```

// ISR routine

```
void ComCallback(int portNumber, int eventMask,
void *callbackdata) {
```

```
unsigned char readBuf[28] = {0};
```

```
if (eventMask & LWRS_RECEIVE) {
    InstallComCallback (PortNr, 0, 0, 0, 0, 0);
    //disable callback
    ComRd (PortNr, readBuf, 24);
    FlushInQ (PortNr);
```

// prelucrarea datelor din readBuf

```
InstallComCallback (PortNr, eventMask,
notifyCount, eventChar, ComCallback, 0);
```

```
}
}
```


Pachetul de date conține un **Status Vector** de 16 bits, care este folosit pentru a determina stările interne ale unității RTU. Stările în vorbă pot fi: starea sistemului de protecție pentru actuator, starea reguletoarelor de debite (închis, deschis), modul de operare (control manual sau automat – cu ajutorul reguletoarelor PID și Fuzzy), etc. Pe baza acestui vector sunt modificate elementele grafice, cum ar fi leduri virtuale, texte de avertizare. Structura vectorului este prezentat în continuare:

```
// Status Vector structure

//Bit
// 0 - MFC O2 Force Close state (0 closed 1
opened)
// 1 - Servo control state (0 automatic 1 manual)
// 2 - MFC Ar Closed (0 closed 1 opened)
// 3 - MFC Ar control state (0 automatic 1 manual)
// 4 - Servo Current protection state (0 automatic 1
manual - no protection)
// 5 - Servo Relay State (0 ON 1 OFF)
// 6 - Servo control state (0 other 1 potentiometer)
// 7 - Servo protection (0 no problem 1 high
current -> servo power off)
// 8 - Suspend servo control - No control (0 other 1
no control)
// 9 - Calibration (0 not succesful 1 succesful)
// 10 - Controller type (0 PID 1 FUZZY)
// 11 - Plasma state (0 ok 1 wrong)
// 12 - NU
// 13 - NU
// 14 - NU
// 15 - NU

// Note: NU - Not Used
```

Textele de avertizare sunt intermitente și sunt realizate cu ajutorul timpului de bază $T_s=150\text{ms}$. În momentul în care o stare de eroare este activă, un variabil global de tip **Flag** este setat corespunzător, pe baza căruia în funcția *Time* elementul grafic este activat sau dezactivat. Pe lângă activarea și dezactivarea elementelor (setarea atributului **Hidden**) unele elemente grafice în stare de eroare sunt estompate (setarea atributului **Dimmed**).

De exemplu: când protecția hardwer de supracurent este activat, alimentarea actuatorului este oprit. De aceea display-ul analogic este estompat, valoarea curentului

este setat la 0A, led-ul de funcționare este stins și textul High Current apare pe ecran în mod intermitent până când starea de eroare este activă (Fig. 6).

// Blink the "High Current" text

```
if(Current_Prot==0){
    if(s==1){
        s=0;
        SetCtrlAttribute (gPanelHandle,
        PANEL_TOGGLEBUTTON_6,
        ATTR_VISIBLE , 1);
    }
    else{
        s=1;
        SetCtrlAttribute (gPanelHandle,
        PANEL_TOGGLEBUTTON_6,
        ATTR_VISIBLE , 0);
    }
}
```

// Setarea atributului Hidden

```
SetCtrlAttribute (gPanelHandle,
PANEL_TOGGLEBUTTON_6, ATTR_VISIBLE ,
1);
```

// Setarea atributului Dimmed

```
SetCtrlAttribute (gPanelHandle, PANEL_
NUMERICMETER, ATTR_DIMMED , 1);
```

// Setarea valorilor

```
SetCtrlVal (gPanelHandle,
PANEL_NUMERICSLIDE, value);
```

// Obținerea valorilor

```
GetCtrlVal (gPanelHandle,
PANEL_NUMERICSLIDE, &value);
```

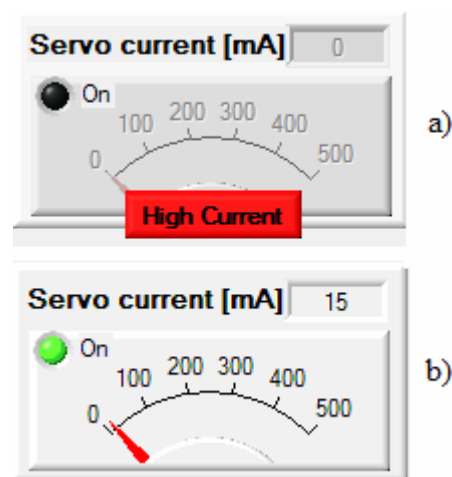


Fig. 6 – a) Protecție supracurent b) Mod de lucru normal

Funcții realizate:

- Afișarea măsurărilor și a stărilor sistemului cu ajutorul elementelor grafice.
- Archivarea datelor în mod automat (**Data Archivation**)
- Archivarea stărilor (**EVENT Log.**)
- Posibilitatea de a controla în mod manual sistemul de control al presiunii. (Fig. 8)
- Setarea valorilor de referință (valoarea debitelor de gaze, valoarea presiunii dinamice)(Fig. 9).
- Posibilitatea de a acorda structura de reglare PID și Fuzzy în mod online fără reprogramarea sistemului încorporat (Fig. 10). [9,11,12]
- Vizualizarea funcționării a regulatorului Fuzzy încorporat (Fig. 11).

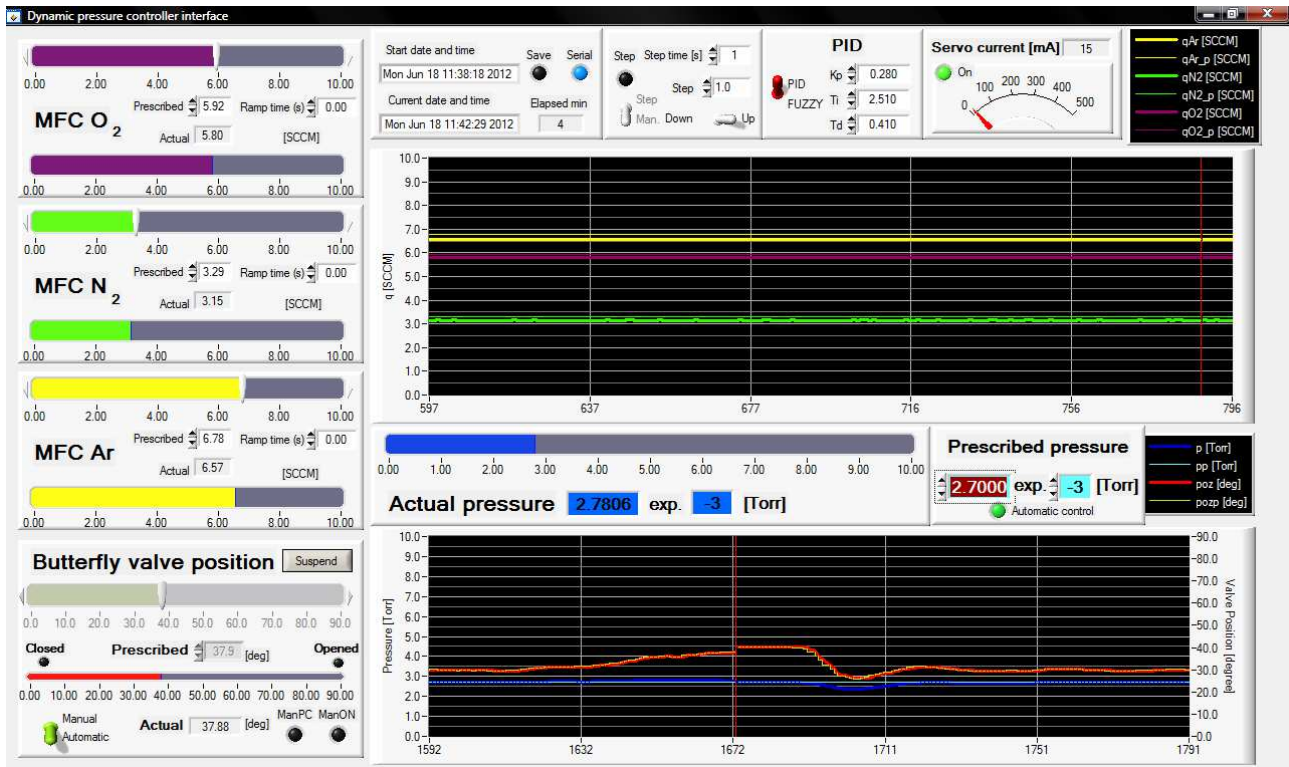


Fig. 7 - Interfața grafică principală al aplicației SCADA (HMI)

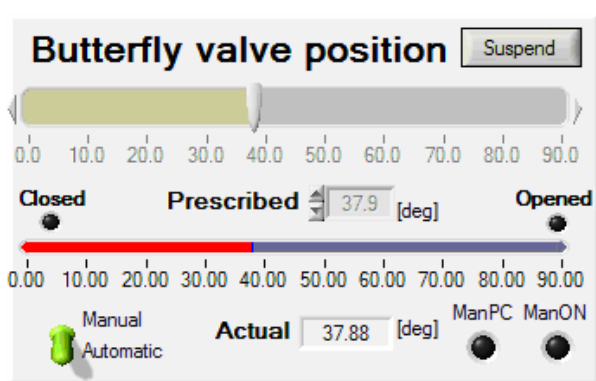


Fig. 8 – Controlul manual al valvei tip fluture



Fig. 9 – Setarea valorii de referință

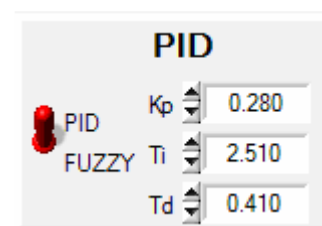


Fig. 10 – Selectarea structurii de reglare și acordarea acestuia în mod online

O structură de reglare de tip Fuzzy este mult mai complexă decât una PID. În cazul în care regulatorul este implementat pe un sistem încorporat, acordarea, dar și verificarea funcționării corecte devine dificilă. Totuși pentru a elimina această problemă, am realizat o interfață grafică care este activată în momentul în care este selectat regulatorul Fuzzy. Având acces la Rule Base, la regurile

selectate, la Inference Logic, putem urmări în mod online funcționarea regulatorului.

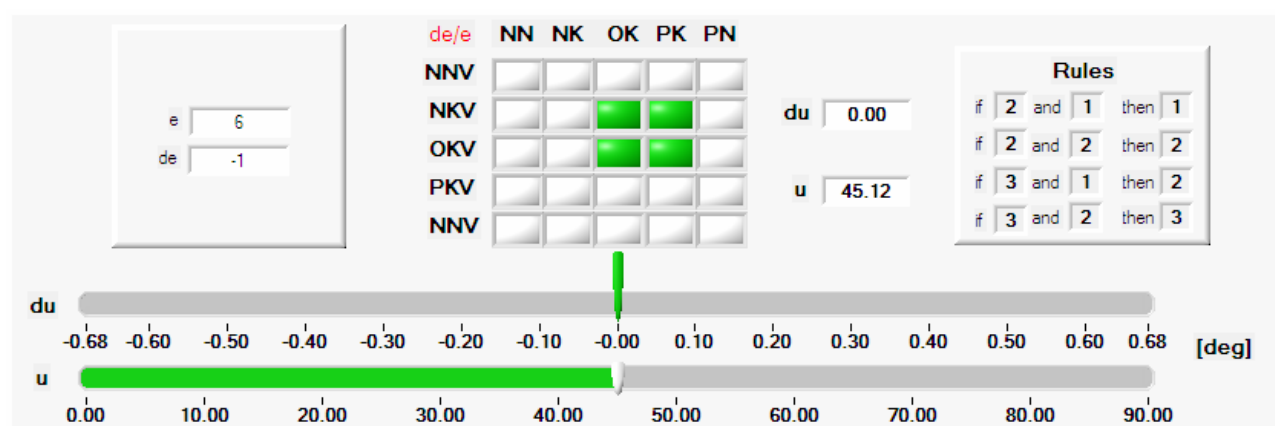


Fig. 11 - Interfața grafică al aplicației pentru acordarea regulatorului Fuzzy

În mod normal, în timpul proceselor de pulverizare este folosită interfața grafică principală, pentru că toți utilizatorii sunt familiari cu structura sistemului de pulverizare. Totuși am realizat și o interfață interactivă

(Fig. 12), care are la bază schema bloc a sistemului experimental prezentat în Fig. 1. Fereastra poate fi deschisă sau închisă din pagina principală.

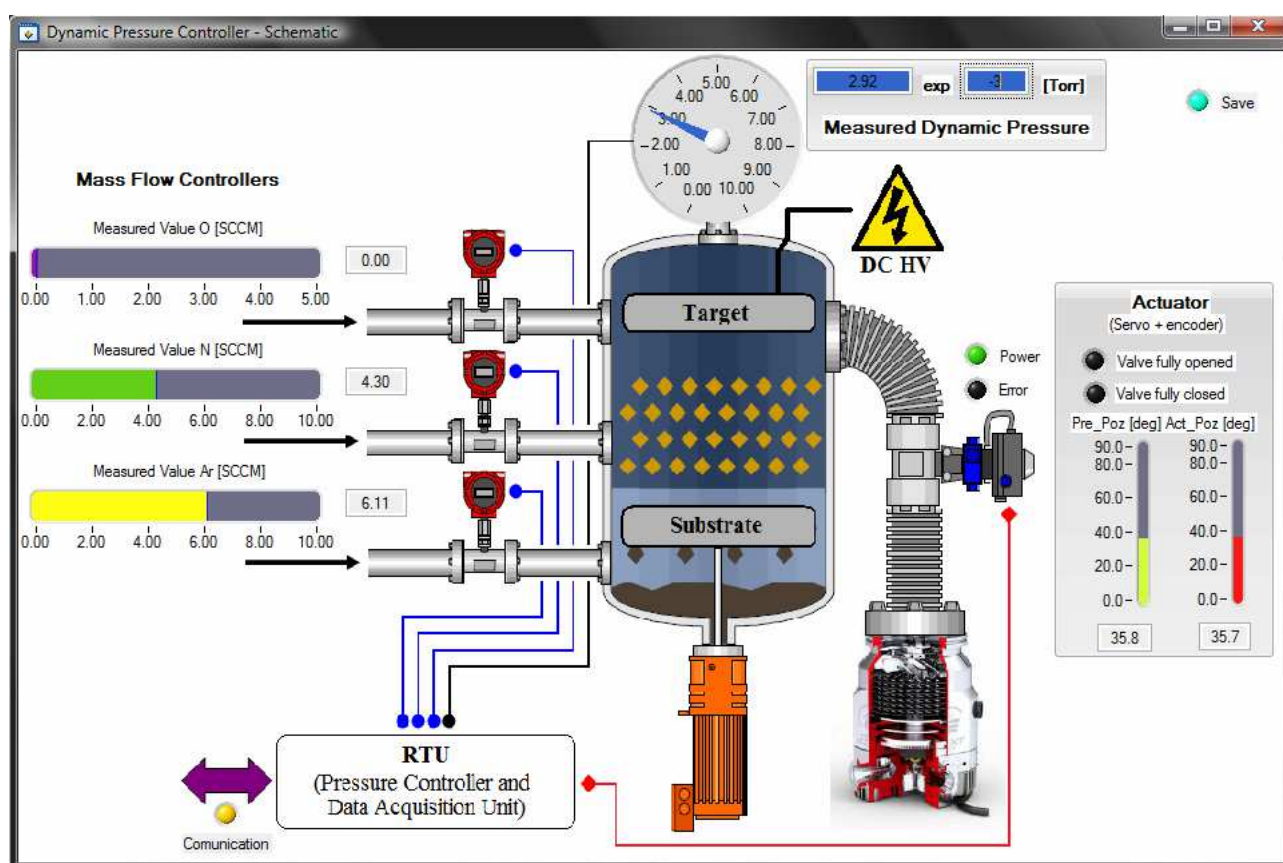


Fig. 12 - Interfața grafică secundară al aplicației SCADA (HMI)

Pentru procesarea ușoară a fișierelor create în mod automat, s-a realizat în cadrul aplicației SCADA o altă interfață grafică (Fig. 13). Cu ajutorul programului se poate studia nu numai întregul fișier, ci și o parte dorită a

acestui. Astfel s-a realizat opțiunea **ZOOM**, care de altfel nu este prezent în mediul CVI. Cu această unealtă, avem posibilitatea de a evalua și prelucra datele obținute în procesul pulverizare în mod simplu, doar prin

selectarea unui fișier și apăsarea unui buton. Dacă dorim să vizualizăm doar o parte a

fișierului, cu ajutorul unor elemente numerice putem selecta intervalul de timp dorit. [3,6]

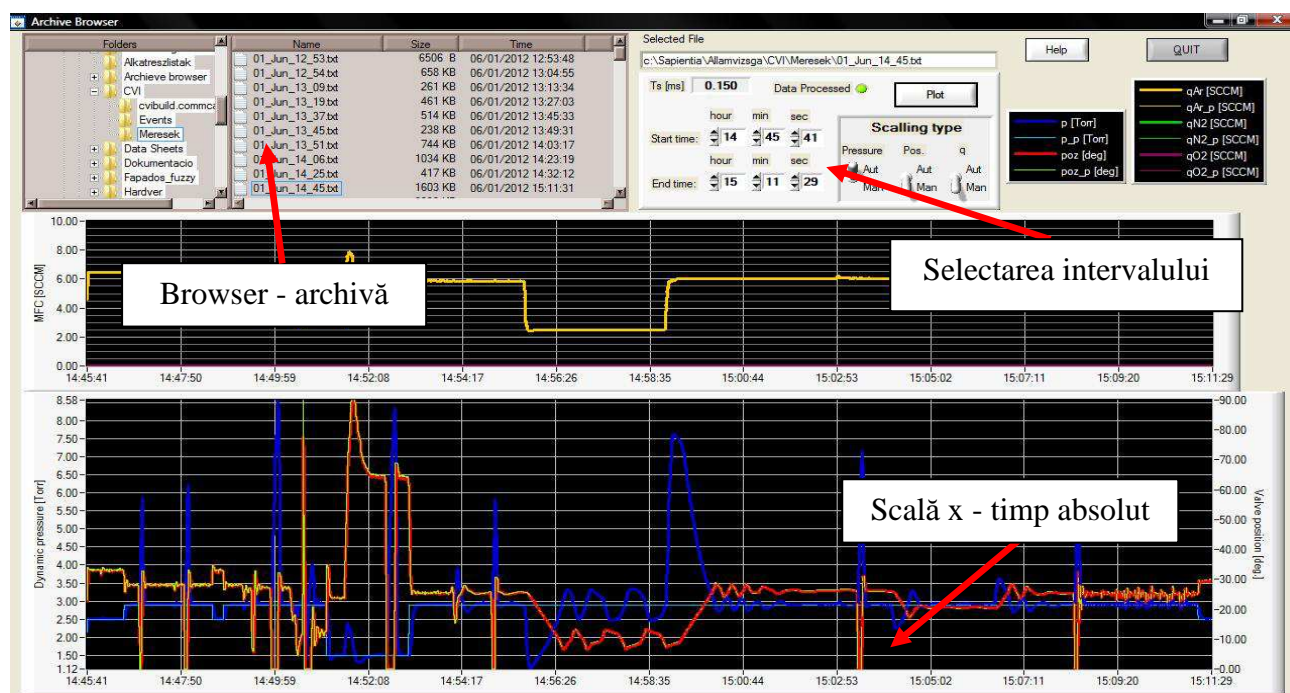


Fig. 13 – File Browser (HMI)

Obiective pentru viitor

Una dintre cele mai importante obiective pentru viitor din punctul de vedere al sistemului SCADA, ar fi proiectarea și implementarea unei rețele industriale de tip Profibus. Am avea o unitate master sub forma

unui PLC, care comunică cu calculatorul central prin RS-232 (Fig. 14). Introducerea rețelei presupune proiectarea unor Gateway-uri (UNIGATE IC: ProfibusDP) pentru fiecare echipament, care realizează transferul de date între două protocoale diferite.

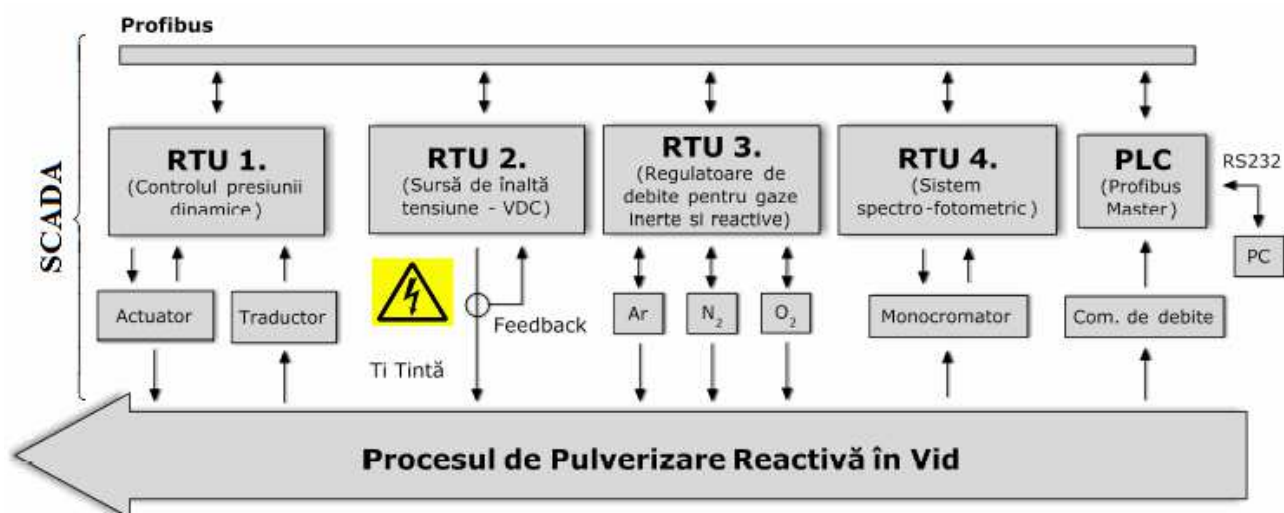


Fig. 14 – Rețeaua Profibus (Schemă de bloc simplificat)

Bibliografie

- [1] Albert-Zsombor FEKETE, Sándor PAPP, **“Modeling of Dynamic and Partial Pressures in Reactive Sputtering Processes”**, *The 6th edition of the Interdisciplinarity in Engineering International Conference, Tîrgu-Mureş*, pp. 249-253, 2012
- [2] Tiberiu Coloşi, Lelia Feştilă, **„Elemente de electronică industrială”**, *Inst. Politehnic Cluj Napoca*, 1978
- [3] Bakó László, Koncz Kálmán, **„SCADA rendszerek és ipari kommunikáció”**, *Curs Universitar, Universitatea Sapientia, Târgu Mureş*, 2009
- [4] Bíró Domokos, **„Processing of self-lubricating MoS₂ doped TiAlCN nano-composite coatings by reactive UM magnetron co-sputtering and tribological performance optimization in controlled preparation conditions”**, *Triboscience and tribotechnology superior friction and wear control in engines and transmissions, Luxemburg*, vol. 315-319, pp. 88-95, 2008
- [5] Ionescu, Fl.: **„Măsurări electrice şi electronice şi traductoare”**, *Litografia I.P. Bucureşti*, 1981
- [6] http://www.automatizari-scada.ro/html/ce_este_scada__ce_este_modbus_.php
- [7] S. Berg, T. Nyberg, **„Fundamental understanding and modeling of reactive sputtering processes”**, *Science Direct, Thin Solid Films* 476, 215-235, 2005
- [8] Dominic Bíró, **„Straturi subţiri nanostructurate”**, *Editura Universităţii Petru Maior Târgu Mureş*, 2004
- [9] Lantos Béla, **„Irányítási rendszerek elmélete és tervezése”**, *Akadémiai kiadó, Budapest*, 2005
- [10] Jean-Marie Chappe, Nicolas Martin, Jan Lintymer, Fabrice Sthal, Guy Terwagne, Jamal Takadoum, **„Titanium oxynitride thin films sputter deposited by the reactive gas pulsing process”**, *Science Direct, Applied Surface Science* 253, 5311-5316, 2007
- [11] Márton Lőrinc, **„Irányítástechnika”**, *Scientia Kiadó, Kolozsvár*, 2009
- [12] Kevin M. Pasino, Stephen Yurkovich, **„Fuzzy Control”**, *Addison Wesley*, 1998