

## SISTEM NUMERIC DE REGLARE A TURAȚIEI UNUI MOTOR DE CURENT ALTERNATIV FOLOSIND LOGICA FUZZY

Vilan Constantin Cristinel *Asist. ing. Universitatea “Constantin Brâncuși”*

**ABSTRACT:** Această lucrare prezintă etapele de proiectare și implementare a unui sistem numeric de reglare a turației unui motor de curent alternativ folosind logica fuzzy. În lucrare sunt prezentate modalitatea de proiectare a sistemului de achiziție pentru parametrii motorului de curent alternativ, respective pentru transmiterea spre elementul de execuție al sistemului a comenzii elaborate de regulatorul fuzzy, implementat software.

### 1. Descrierea generală a sistemului de reglare a turației motorului de curent alternativ

Schema bloc a sistemului numeric de reglare a turației unui motor de curent alternativ folosind logica fuzzy este prezentată în figura 1, iar imaginea standului experimental implement în figura 2.

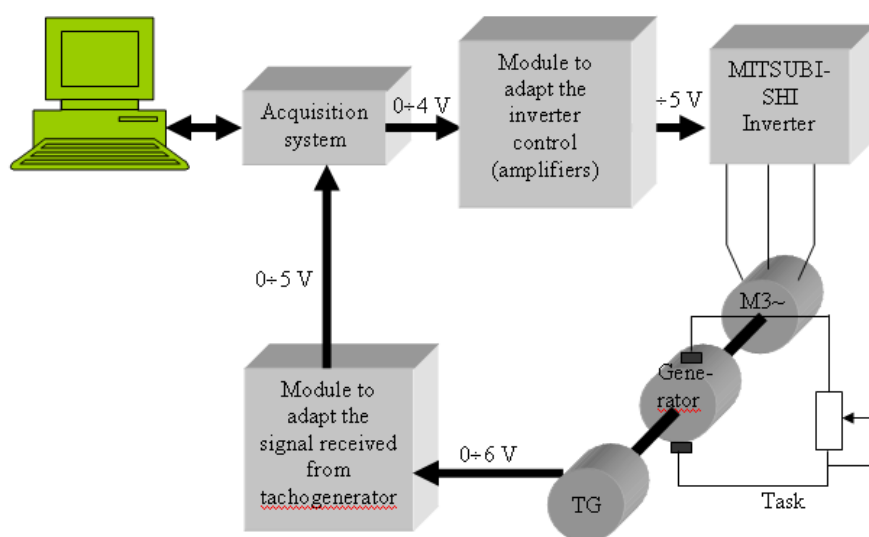


Figura 1. Schema bloc de reglare a turației motorului de curent alternativ  
Figure 1. Block diagram of the system for regulating the speed of AC motor

## NUMERIC SYSTEM FOR REGULATING SPEED OF AC MOTOR USING FUZZY LOGIC

Vilan Constantin Cristinel *Asist. ing. “Constantin Brâncuși” University*

**ABSTRACT:** The paper presents the design and implementation strategy of a digital system for regulating the speed of AC motor using the fuzzy logic. In the paper are present the design and implementation stage of a digital acquisition system used to AC motor's parameters acquisition, respectively for transmission to execution element of the elaborated control by the regulating law implemented software.

### 1. General description of the numerical system for AC motor speed adjustment

Block diagram of the system for regulating the speed of AC motor using fuzzy logic design is shown in Figure 1 and the image of the experimental stand are in Figure 2.

Legea de reglare a sistemului proiectat este implementată software cu ajutorul mediului de dezvoltare LabWindows CVI. Pentru această implementare avem nevoie de un sistem de achiziție, care să achiziționeze turația și curentul motorului de curent alternativ și totodată să transmită către elementul de execuție al sistemului comanda elaborată de legea de reglare implementată software.

Curentul pe care motorul de curent alternativ îl consumă în timpul funcționării este furnizat de convertorul static de frecvență folosit ca element de execuție în cadrul sistemului, iar turația acestuia este furnizată de către un tahogenerator.

Convertorul static de frecvență MITSHUBISHI poate fi comandat cu un semnal extern (0÷5V), și furnizează la ieșire un semnal sinusoidal cu frecvență și amplitudine variabile, domeniul de variație al frecvenței fiind cuprins între 0 și 60 Hz.

Arborele motorului de curent alternativ este cuplat flexibil cu arborele unui generator de tensiune și al unui tahogenerator. Generatorul de tensiune este sarcina motorului de curent alternativ, acesta perturbând turația întregului ansamblu atunci când la bornele lui se conectează diverse sarcini.

În continuare se detaliază anumite elementele componente ale sistemului proiectat.

Regulating law (using fuzzy logic) of designed system is software implemented using development environment LabWindows CVI. For this implementation we need to design an acquisition system for acquisition of the AC motor's speed, this value been read with an tachogenerators and the current of the AC motor, respectively for transmission to execution element of the elaborated control by the regulating law implemented software.

The current of AC motor during consumption, it is sent to the computer by static frequency converter, via the second analog input channel of acquisition system.

The MITSHUBISHI inverter can be commanded with an extern voltage signal (0÷5V), and it give at his output an sinusoidal signal with variable frequency and magnitude, the variation range of frequency been 0÷60 Hz.

AC motor's stem is coupled to flexible common stem of a voltage generator and a tachogenerators. Voltage generator is the AC motor's task, the system perturbation actuate when at the voltage generator terminals are connected one or more users.

Next we detail each component of the adjustment system design.

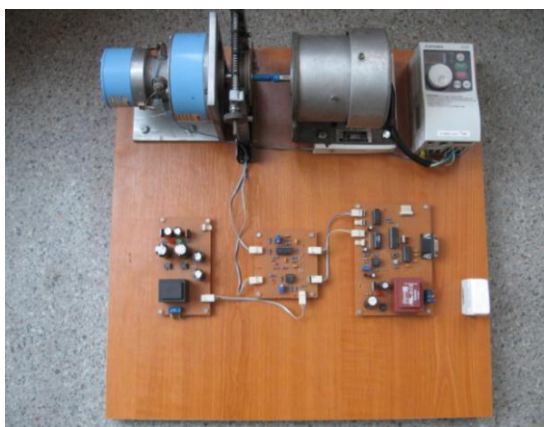


Figura 2. Fotografia stndului experimental proiectat  
Figure 2. Image of the experimental stand

**1.1. Sistemul de achiziție**

Sistemul de achiziție proiectat este unul cu patru canale analogice de intrare și patru canale analogice de ieșire. Din cele patru canale analogice de intrare se folosesc doar două, unul pentru achiziționarea turației motorului și unul pentru achiziționarea curentului, iar din cele patru canale analogice de ieșire se folosește unul singur pentru transmiterea comenzii. Schema electrică a sistemului de achiziție proiectat este prezentată în figura 3. Sistemul de achiziție este dezvoltat în jurul unui nucleu implementat cu un microcontroler ATMEL AT 89C2051, produs de firma ATMEL CORPORATION, acesta fiind un microcontroller pe 8 biți din familia MCS51.

**1.1. Acquisition system**

Acquisition system designed is one with four analog outputs and four analog input. Of the four analog inputs that the four analog outputs used in practical implementation two analog inputs channels and one analog output channel. Electrical diagram of the acquisition system is shown in Figure 3. The acquisition is designed around a core made with an AT 89C2051 microcontroller, product of ATMEL CORPORATION. ATMEL company 8-bit family of microcontrollers MCS51 launched and produced by INTEL has become an industry standard.

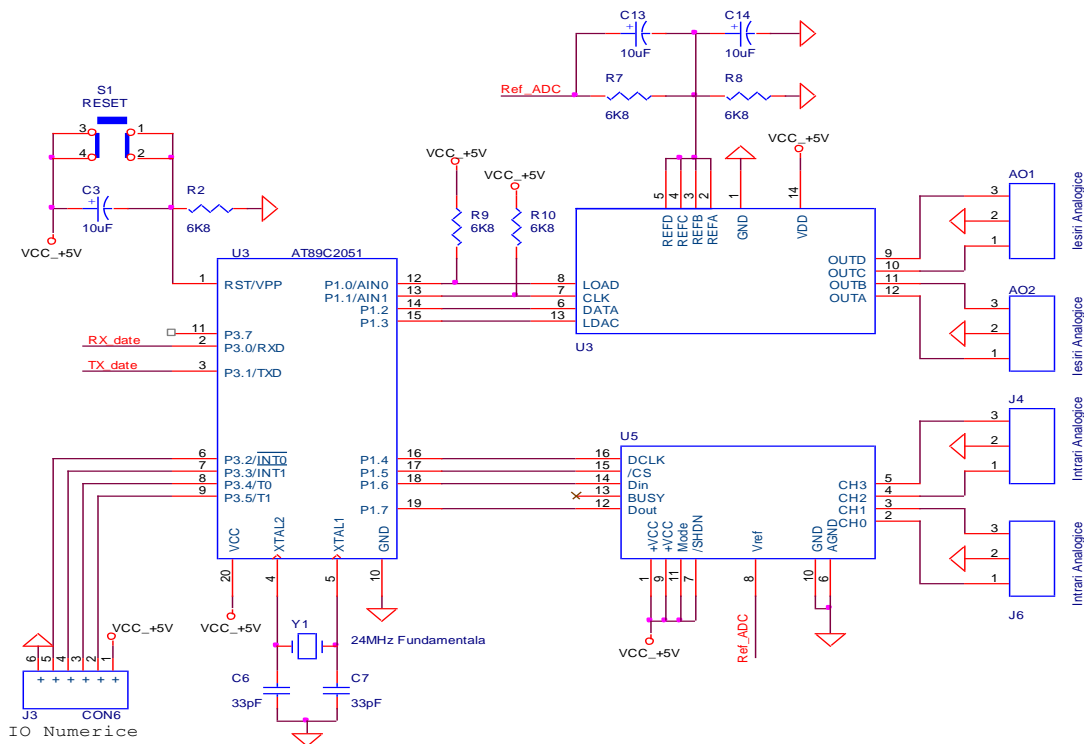


Figura 3. Schema electrică a sistemului de achiziție  
Figure 3. Electrical diagram of the acquisition system

**2. Sinteza regulatorului fuzzy**

**2.1. Fuzzyficarea informației ferme și construirea bazei de reguli**

Vom proiecta în continuare un regulator

**2. The synthesis of the Fuzzy regulator**

**2.1. The fuzzyfication of the ferm information and creating the rules base**

fuzzy necesar reglării turației unui motor de curent alternativ.

Turația nominal a motorului este de 1500 rot/min, iar domeniul de reglare al acesteia este 0÷1500 rot/min.

Pentru reglarea turației acestui motor vom defini trei variabile lingvistice asociate cu mărimile de intrare (curentul statoric și eroarea de turație) și cu mărimea de ieșire (comanda):

- eroarea de turație – care variază în intervalul -1500÷1500 rot/min;
- curentul statoric care variază în intervalul 0 – 3,5 A;
- comanda care poate lua valori în intervalul 0÷5 V.

Variabila lingvistică eroarea de turație poate fi caracterizată vag prin următorii termeni lingvistici:

$W_m$  –eroare de turație mica cu funcția de apartenență:  $\mu_{W_m} = (-1500, -1500, 1000, 0)$ ;

$W_p$  – eroare de turație medie cu funcția de apartenență:  $\mu_{W_p} = (-1000, 0, 1000, 0)$ ;

$W_M$  – eroare de turație mare cu funcția de apartenență:  $\mu_{W_M} = (0, 1000, 1500, 1500)$ .

Pentru variabilele lingvistice eroare de turație și curent forma funcțiilor de apartenență aferentă termenilor lingvistici definiți este prezentată în figura 4

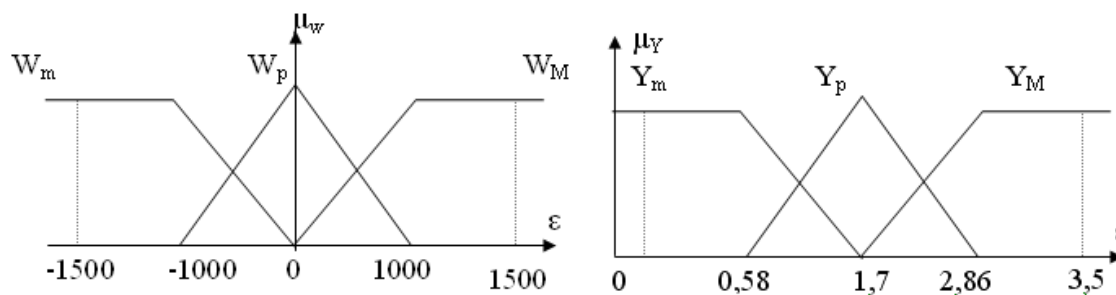


Figura 4.

Figure 4.

Pentru variabila lingvistică comanda vom considera tot trei termeni lingvistici:

$U_m$  – comandă mica cu funcția de apartenență:  $\mu_{U_m} = (0, 0, 2,5)$ ;

$U_{md}$  – comandă medie cu funcția de apartenență:  $\mu_{U_{md}} = (0, 2,5, 5)$ ;

We'll start to materialize a fuzzy regulator for adjusting the speed of AC motor.

The nominal revolution of the AC motor is 1500 rot/min, and the domain for adjustment is 0÷1500 rot/min.

For the revolution adjustment of AC motor we'll define 3 linguistic variables, associated to the input quantities (the statoric current, the revolution error) and to the output quantity (the command):

- the revolution error – which varies between -1500÷1500 rot/min;
- the statoric current which has values between 0÷3,5 A;
- the command which takes values in the interval 0÷5 V.

The linguistic variable revolution error can be vaguely characterized through the following linguistic terms:

$W_m$  –low revolution error with belonging function:  $\mu_{W_m} = (-1500, -1500, 1000, 0)$ ;

$W_p$  –moderated revolution error with belonging function:  $\mu_{W_p} = (-1000, 0, 1000, 0)$ ;

$W_M$  –high revolution error with belonging function:  $\mu_{W_M} = (0, 1000, 1500, 1500)$ .

For the linguistic variables revolution and current error, the shape of the belonging function afferent to the linguistic term from the middle, as is seen in figure 4.

For the command linguistic variable we'll consider 3 linguistic terms:

$U_m$  – low command with the belonging function:  $\mu_{U_m} = (0, 0, 2,5)$ ;

$U_{md}$  – moderate command with the belonging function:  $\mu_{U_{md}} = (0, 2,5, 5)$ ;

$U_M$  – comandă mare cu funcția de apartenență:  $\mu_{UM} = (2,5, 2,5, 5)$ ;

În continuare vom considera un studiu de caz pentru o valoare particulară a referinței de turație ( $W_0 = 700$  rot/min). Eroarea de turație la momentul initial este  $W_0 = \omega_0 - E_0 = 700$ .

Pentru acest caz vom folosi funcțiile de apartenență de tip trapezoidal dreptunghic și triunghiular ale căror expresii sunt prezentate în continuare

$$\mu(\varepsilon_0) = \begin{cases} \frac{\varepsilon_0 - A}{C - A} & \text{pentru } A \leq \varepsilon_0 \leq C \\ 1 - \frac{\varepsilon_0 - C}{B - C} & \text{pentru } C \leq \varepsilon_0 \leq B \\ 0 \sim \text{altfel} \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu(W_0) = \begin{cases} 0 & \text{pentru } \varepsilon_0 < A \\ \frac{\varepsilon_0 - A}{B - A} & \text{pentru } A < \varepsilon_0 \leq B \\ 1 & \text{pentru } B < \varepsilon_0 \leq C \\ \frac{D - \varepsilon_0}{D - C} & \text{pentru } C < \varepsilon_0 \leq D \\ 0 & \text{pentru } D < \varepsilon_0 \end{cases} \quad (2)$$

Valorile aferente gradelor de apartenență a valorii ferme  $W_0 = 700$  la termenii lingvistici definiți sunt:

$$W_0 = \{\mu_{W_m}(W_0), \mu_{W_p}(W_0), \mu_{W_M}(W_0)\} \quad (3)$$

Pentru termenul lingvistic  $W_m$  avem:  $\mu_{W_m}(W_0)$ .

$W_0 = 700$ ,  $A = -1500$ ,  $B = -1500$ ,  $C = -1000$ ,  $D = 0$ .

Rezultă:  $W_0 > D$  și deci:  $\mu_{W_m}(700) = 0$ .

Pentru termenul lingvistic  $W_p$  avem:  $\mu_{W_p}(W_0)$ .

$W_0 = 700$ ,  $A = -1000$ ,  $B = 1000$ ,  $C = 0$ .

Rezultă:  $C < W_0 \leq B$  și deci:  $\mu_{W_p}(700) = 0,3$ .

Pentru termenul lingvistic  $W_M$  avem:  $\mu_{W_M}(W_0)$ .

$W_0 = 700$ ,  $A = 0$ ,  $B = 1000$ ,  $C = 1500$ ,  $D = 1500$ .

Rezultă:  $A < W_0 \leq B$  și deci:  $\mu_{W_M}(700) = 0,7$ .

În conformitate cu relația (3) obținem 3- uplul:

$U_M$  – high command with the belonging function:  $\mu_{UM} = (2,5, 2,5, 5)$ ;

Next will be exemplified the way in which the degrees of belonging are determined for a firm value ( $W_0 = 700$  rot/min). The revolution error at the initial moment is therefore  $W_0 = \omega_0 - E_0 = 700$ . For this we will use the triangular and trapezoidal belongings functions which have the following analytic expression:

The afferent values of the belonging degrees of the firm value  $W_0 = 700$  at the defined linguistic terms are:

We will calculate then the values of the belonging degrees.

For the  $W_m$  linguistic term we have:  $\mu_{W_m}(W_0)$ .

$W_0 = 700$ ,  $A = -1500$ ,  $B = -1500$ ,  $C = -1000$ ,  $D = 0$ .

It results:  $W_0 > D$  and so:  $\mu_{W_m}(700) = 0$ .

For the  $W_p$  linguistic term we have:  $\mu_{W_p}(W_0)$ .

$W_0 = 700$ ,  $A = -1000$ ,  $B = 1000$ ,  $C = 0$ .

It results:  $C < W_0 \leq B$  and so:  $\mu_{W_p}(700) = 0,3$ .

For the  $W_M$  linguistic term we have:  $\mu_{W_M}(W_0)$ .

$W_0 = 700$ ,  $A = 0$ ,  $B = 1000$ ,  $C = 1500$ ,  $D = 1500$ .

It results:  $A < W_0 \leq B$  and so:  $\mu_{W_M}(700) = 0,7$ .

According to the relation (3) we have the 3-ouple:

$$W_0 = \{0, 0.3, 0.7\}.$$

$$W_0 = \{0, 0.3, 0.7\}.$$

Similar pentru variabila lingvistică curent gradele de apartenență ale valorii ferme  $Y_0=0,82$  A, la termenii lingvistici definiți în figura 4 sunt date de 3-uplul:

$$Y_0 = \{0.785, 0.214, 0\}.$$

Baza de reguli după care regulatorul fuzzy lucrează poate fi definită simplu considerând ca premiză eroarea de turație, după cum urmează:

R1: DACĂ (e=Wm) ȘI (y=Ym) ATUNCI (u=Um);

R2: DACĂ (e=Wp) ȘI (y=Ym) ATUNCI (u=Umd);

.

R9: DACĂ (e=WM) ȘI (y=YM) ATUNCI (u=Umd);

## 2.2. Mecanismul de inferență și compunerea regulilor

Inferența vagă reprezintă algoritmul după care se evaluează implicațiile de forma DACĂ (premiza) ATUNCI (concluzia) reunite într-o bază de reguli. În evaluarea inferenței se pot utiliza compozițiile MAX – MIN, MAX – PROD sau SUM-PROD.

Astfel pentru o regulă din cadrul BRF de forma:

R8: DACĂ (e=Wp) ȘI (y=YM) ATUNCI (u=Umd); (4)

avem:  $\omega_{Umd} = \text{MIN}(0.3, 0) = 0$ , unde  $\omega_{Umd}$  – este valoarea scalară de activare a mulțimii fuzzy de ieșire  $U_{md}$ .

Astfel se rețin doar regulile utile din BRF, pentru studiul de caz considerat acestea fiind:

$$R2 \rightarrow \omega_{Umd} = \text{MIN}(0.3, 0.7) = 0.3 \quad (5)$$

$$R3 \rightarrow \omega_{UM} = \text{MIN}(0.7, 0.7) = 0.7 \quad (6)$$

$$R5 \rightarrow \omega_{Umd} = \text{MIN}(0.3, 0.2) = 0.2 \quad (7)$$

$$R6 \rightarrow \omega_{Umd} = \text{MIN}(0.7, 0.2) = 0.2 \quad (8)$$

Observăm că în cadrul procesului de inferență mai multe reguli pot avea ca

Similarly for the fuzzy variable current, the values afferent to the degrees of belonging of the firm values  $Y_0=0,82$  A, at the defined linguistic terms are:

$$Y_0 = \{0.785, 0.214, 0\}.$$

The rules base after which the fuzzy regulator works can be simple defined considering as a premise the revolution error as follows:

R1: IF (e=Wm) AND (y=Ym) THEM (u=Um);

R2: IF (e=Wp) AND (y=Ym) THEM (u=Umd);

.

.

R9: IF (e=WM) AND (y=YM) THEM (u=Umd);

## 2.2. The inference and composition of the rules

Each rule from BRF framework represents a logical expression built with the conjunction operator AND. Therefor the intersection operation of the fuzzy multitude is applied, after which at the output is obtained a punctual minimum of the belonging function domain of the output variables.

And so, for a rule from BRF framework as:

R8: IF (e=Wp) AND (y=YM) THEM (u=Umd); (4)

we have:  $\omega_{Umd} = \text{MIN}(0.3, 0) = 0$ , where  $\omega_{Umd}$  – is the scalar value for activating the fuzzy multitude  $U_{md}$ .

As it follows, we retain only the useful rules (significant) for the given numerical case which are 4:

$$R2 \rightarrow \omega_{Umd} = \text{MIN}(0.3, 0.7) = 0.3 \quad (5)$$

$$R3 \rightarrow \omega_{UM} = \text{MIN}(0.7, 0.7) = 0.7 \quad (6)$$

$$R5 \rightarrow \omega_{Umd} = \text{MIN}(0.3, 0.2) = 0.2 \quad (7)$$

$$R6 \rightarrow \omega_{Umd} = \text{MIN}(0.7, 0.2) = 0.2 \quad (8)$$

We observe that in the inference process the rules may have as result the same fuzzy multitude as output, generally activated with different  $\omega_i$  coefficients. This is the case of rules R2, R5 and the R6 from the example we analyze. So, the operation of inference is

mărimde ieșire același termen lingvistic de ieșire ponderat cu diverși coeficienți  $\omega_i$ . Acesta este cazul regulilor R2, R5 și R6 din exemplul considerat. Așadar operația de inferență se încheie la nivelul întregii baze de reguli BRF printr-o tehnică de compunere (combinare) a rezultatelor inferențelor elementare (de la fiecare regulă  $i$  activată). În cazul de față adoptăm metoda de compunere cunoscută sub numele de MAX potrivit căreia pentru regulile care au aceeași mulțime fuzzy de ieșire, aceasta (mulțimea fuzzy de ieșire) este activată (ponderată) cu valoarea maximă a coeficientului  $\omega_i$ . Așadar pentru regulile R2, R5, R6, mulțimea fuzzy de ieșire  $U_{md}$  va fi ponderată cu coeficienți  $\omega_{U_{md}}$  calculate astfel:

$$\omega_{U_{md}} = \text{MAX}(\omega_2, \omega_5, \omega_6) = \text{MAX}(0.3, 0.2, 0.2) = 0.3 \quad (9)$$

În continuarea exemplului aplicarea operației de inferență cu corelare prin produs este exemplificată grafic în figura 5.

finalized at the level of the whole BRF through a technique of composition of the results of the elementary inferences. In our case, we adopt the method of composition known as MAX, after which the rules which have the same fuzzy multitude for output, it is activated with the maximum values of the coefficient  $\omega_i$ . So for the rules R2, R5, R6, the output fuzzy multitude  $U_{md}$  will be pondered with the coefficient  $\omega_{U_{md}}$  calculated as follows:

$$\omega_{U_{md}} = \text{MAX}(\omega_2, \omega_5, \omega_6) = \text{MAX}(0.3, 0.2, 0.2) = 0.3 \quad (9)$$

Further in this example we applied the operation of inference with correlation through product as is shown in the graphics in figure 5.

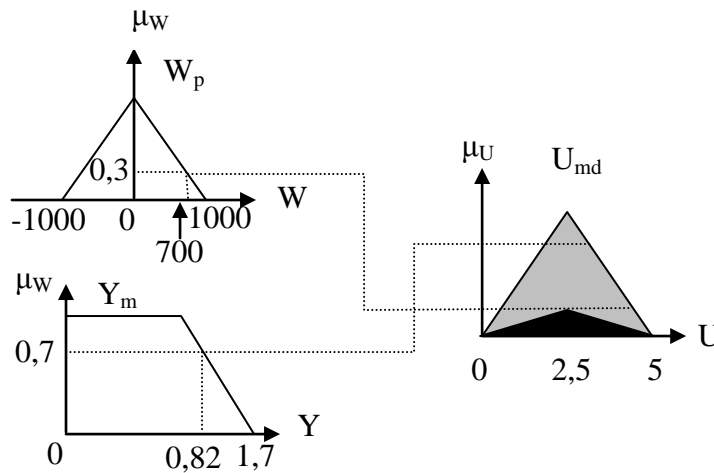


Figura 5.  
Figure 5.

Pentru exemplul considerat ieșirea fuzzy a sistemului este deci:

$$O = \text{MAX}(\omega_2, \omega_5, \omega_6)m_{U_{md}} + \omega_2 \cdot m_{UM} \quad (10)$$

care din punct de vedere geometric se

As is done the inference with correlation through product and for R3, R5 and R6.

The performed operations until this point are represented For the example considered fuzzy output of the system is:

$$O = \text{MAX}(\omega_2, \omega_5, \omega_6)m_{U_{md}} + \omega_2 \cdot m_{UM}$$

rezumă la reuniunea suprafețelor delimitate de mulțimile fuzzy în urma codificării, ca în figura 6.

(10) which, geometrically speaking, sums up to the reunion of the surfaces limited by fuzzy multitudes as result of codification as in figure 6.

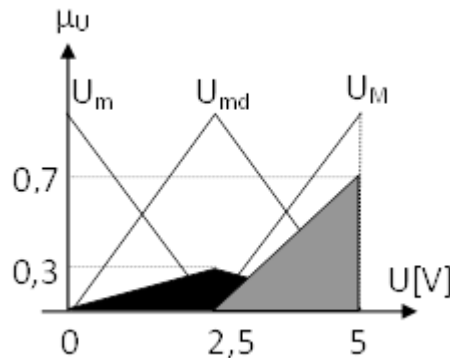


Figura 6.  
Figure 6.

### 2.3. Defuzificarea

În cazul acestei aplicații am optat pentru metoda de defuzificare cea mai utilizată, care oferă cele mai consistente rezultate, metoda centrului de greutate (centroid). Potrivit acesteia, dacă mulțimile fuzzy de ieșire sunt determinate prin metoda de inferență cu corelare prin produs, atunci se poate calcula centrul de greutate global pe baza centrelor de greutate locale ale fiecăre reguli i din BRF astfel:

### 2.3. Defuzzyfication

In case of this application I chose the most used defuzzyfication method which offers the most substantial results, the method of the gravity center (centroid). Adequate to it, if the fuzzy multitudes are determined through the method of inference with correlation through product, then it may be calculated the global gravity center on the basis of the local gravity centers of each I rule from BRF .

In this case:  $u_k=3,88$ .

$$u_k = \frac{\omega_{U_{md}} \cdot I_{U_{md}} \cdot c_{U_{md}} + \omega_{U_M} \cdot I_{U_M} \cdot c_{U_M}}{\omega_{U_{md}} \cdot I_{U_{md}} + \omega_{U_M} \cdot I_{U_M}} = \frac{0,562 + 2,54}{0,225 + 0,6125} = 3,88$$

unde:  $-\omega_i$  reprezintă valoarea scalară de activare a regulii i din cadrul BRF;

$-I_i$  reprezintă aria suprafeței (aria triunghiului sau trapezului);

$-c_i$  reprezintă ordonata centrului de greutate a mulțimii fuzzy de ieșire corespunzătoare regulii i.

### 3. Experimental results

The fuzzy regulator was software implemented, the communication between computer and the AC motor being made through like in figure 1. The answer of the system commanded with a fuzzy regulator when at input is applied an step signal is presented in figure 7.

### 3. Rezultate experimentale

Regulatorul fuzzy astfel proiectat a fost implementat software, comunicația între



calculator și proces realizându-se așa cum am descris la începutul lucrării și în figura 1. Răspunsul sistemului utilizând regulatorul fuzzy proiectat este prezentat în figura 7.

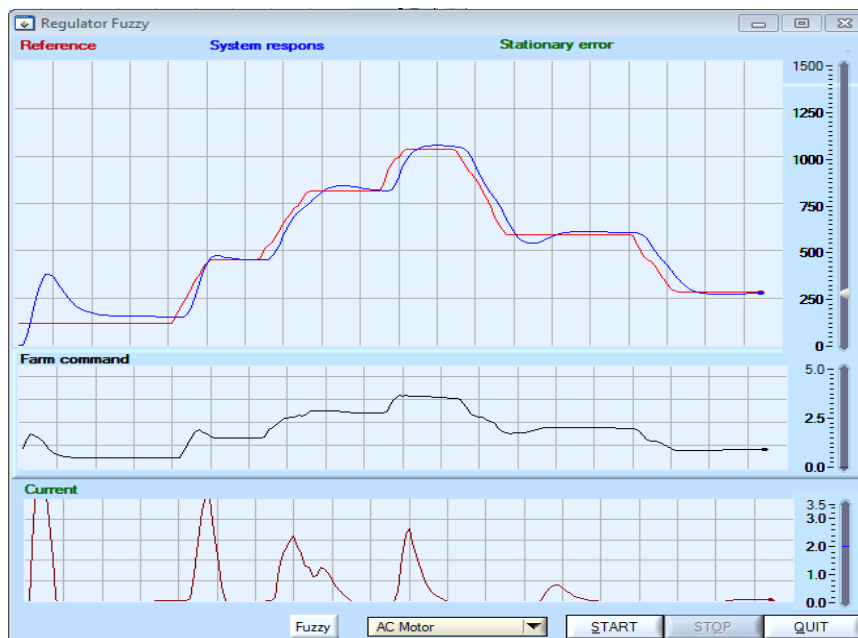


Figura 7. Răspunsul sistemului

#### 4. Concluzii

- Algoritmul de reglare fuzzy implementat în acest caz cu ajutorul mediului de dezvoltare LabWindows oferă performanțe, atât în regim tranzitoriu cât și în regim staționar, mai bune decât un algoritm clasic PID (afirmația se bazează pe experimentări practice) fiind vizibil efectul regulatorului fuzzy de anticipare a evoluției viitoare a perturbației;
- Sistemul proiectat oferă posibilitatea modificării cu ușurință a parametrilor regulatorului fuzzy;
- Sistemul proiectat poate oferi și posibilitatea monitorizării și a altor parametri ai motorului (curent, temperatură, cuplu).

#### BIBLIOGRAFIE

1. Sipalov G.A., Loos A.V., Mathematical modelation of the electrical machin, “The high school”

#### 4. Conclusions

Adjustment system designed include the following benefits:

- as can be seen on the graph in Figure 7, transient response duration and stationary error are very small fitting into acceptable limits;
- the system offers the possibility to easily change the controller parameters and reference speed;
- the system designed and implemented allow also monitor other parameters of the AC motor (current, temperature, torque).

#### BIBLIOGRAPHY

1. Sipalov G.A., Loos A.V., Mathematical modelation of the electrical machin, “The high school” 1980.
2. Constantin Ghiță, Electrical machines, “MATRIX ROM”,2005
3. Preitl, Șt., Precup, E. (1995) *Introducere în conducerea fuzzy a proceselor*, Editura Tehnică, București
4. Sofron, E., Bizon, N., Ioniță, S., Radian,

- 1980.
2. Constantin Ghiță, Electrical machines, “MATRIX ROM”,2005
  3. Preitl, Șt., Precup, E. (1995) *Introducere în conducerea fuzzy a proceselor*, Editura Tehnică, București
  4. Sofron, E., Bizon, N., Ioniță, S., Radian, R. (1998) *Sisteme de control fuzzy. Modelare și proiectare asistată de calculator*, Editura ALL, București.
- R. (1998) *Sisteme de control fuzzy. Modelare și proiectare asistată de calculator*, Editura ALL, București.