

LOGICA FUZZY APLICATĂ ÎN COMANDA VECTORIALĂ A MAȘINII ASINCRONE

MARIUS-CONSTANTIN POPESCU¹
LUMINITA-GEORGETA POPESCU²
CONSTANTIN BRANDUSA¹ ILIE
BORCOSI²

¹University of Craiova, Faculty of
Electromechanical, Environment and
Industrially Informatics Engineering,
Romania.

²“Constantin Brancusi” University of
Targu-Jiu, Faculty of Engineering, Romania.

REZUMAT. Se poate spune că logica fuzzy, rețelele neuronale și algoritmi genetici sunt abordări care, în ansamblu, nu sunt noutăți. Dezvoltarea lor presupune parcurgerea metodelor prin care omul încearcă să copieze natura și să reproducă moduri de gândire și de comportament proprii. Cu toate că aceste abordări par a fi “naturale”, în cazul în care acestea sunt aplicate în domenii variind de la procesarea imaginilor până la managementul financiar, acestea constituie doar un început de utilizare în inginerie electrică și industriei în a rezolva probleme de identificare, control al procesului, optimizare, clasificare, detectarea erorilor și de luarea deciziilor.

Cuvinte cheie: logică fuzzy, controler fuzzy, mașină asincronă

1. Introducere în logica fuzzy

1.1. Principii și definiții

Logica fuzzy se bazează pe teoria mulțimilor fuzzy dezvoltată de Zadeh [14]. Pe lângă un formalism matematic puternic dezvoltat, vom prefera să discutăm despre o prezentare într-o manieră intuitivă. Conceptele de temperatură medie sau scăzută sunt relativ dificil de precizat cu exactitate. Există totuși posibilitatea să se stabilească praguri și să se considere că li se atribuie calificative particulare, în funcție de valoarea variabilei comparativ cu aceste praguri. Acest lucru nu poate exprima decât o opinie

LOGIQUE FLOUE APPLIQUE EN COMMANDE VECTORIELLE DE LA MACHINE ASYNCHRONE

MARIUS-CONSTANTIN POPESCU¹
LUMINITA-GEORGETA POPESCU²
CONSTANTIN BRANDUSA¹ ILIE
BORCOSI²

¹University of Craiova, Faculty of
Electromechanical, Environment and
Industrially Informatics Engineering,
Romania.

²“Constantin Brancusi” University of
Targu-Jiu, Faculty of Engineering, Romania.

RESUME. On pourrait dire que la logique floue, les réseaux de neurones et les algorithmes génétiques constituent des approches qui, tout compte fait, ne sont pas nouvelles. Leur développement se fait à travers les méthodes par lesquelles l'homme essaye de copier la nature et de reproduire des modes de raisonnement et de comportement qui lui sont propres. Bien que ces approches paraissent "naturelles", et si elles se sont imposées dans des domaines allant du traitement de l'image à la gestion financière, elles commencent à peine à être utilisées dans les domaines de l'électrotechnique et de l'industrie afin de résoudre les problèmes d'identification, de régulation de processus, d'optimisation, de classification, de détection de défauts ou de prise de décision.

Mots clef: la logique floue, régulateur flou, la machine asynchrone

1. Introduction en logique floue

1.1. Principe et définitions

La logique floue repose sur la théorie des ensembles flous développée par Zadeh [14]. A côté d'un formalisme mathématique fort développé, nous préférons aborder la présentation de manière intuitive. Les notions de température moyenne ou de courant faible sont relativement difficiles à spécifier de manière précise. On peut fixer des seuils et considérer que l'on attribue tel ou tel qualificatif en fonction de la valeur de la variable par rapport à ces seuils. Ceci ne peut

tranzantă a termenului de “temperatură medie”. Aspectul acestui calificativ nu este reprezentat în Fig. 1a. Se poate defini gradul de apartenență al variabilei temperatură la ansamblul “scăzută” ca și grad de adevăr al propoziției “temperatura este scăzută”. În logica booleană, gradul de apartenență (μ), nu poate lua decât două valori (0 sau 1). Temperatura poate fi [8]:

- scăzută: $\mu_{scazuta}(T)=1, \mu_{medie}(T)=0, \mu_{ridicata}(T)=0$;
- medie: $\mu_{scazuta}(T)=0, \mu_{medie}(T)=1, \mu_{ridicata}(T)=0$;
- ridicată: $\mu_{scazuta}(T)=0, \mu_{medie}(T)=0, \mu_{ridicata}(T)=1$.

exprimer qu'un avis très tranché du qualificatif "température moyenne" par exemple. L'aspect "vague" de ce qualificatif n'est pas représenté (Figure 1a). On peut définir le degré d'appartenance de la variable température à l'ensemble "faible" comme le "degré de vérité" de la proposition "la température est faible". En logique booléenne, le degré d'appartenance (μ) ne peut prendre que deux valeurs (0 ou 1). La température peut être [8]:

- faible: $\mu_{faible}(T)=1, \mu_{moyenne}(T)=0, \mu_{élevée}(T)=0$;
- moyenne: $\mu_{faible}(T)=0, \mu_{moyenne}(T)=1, \mu_{élevée}(T)=0$;
- élevée: $\mu_{faible}(T)=0, \mu_{moyenne}(T)=0, \mu_{élevée}(T)=1$.

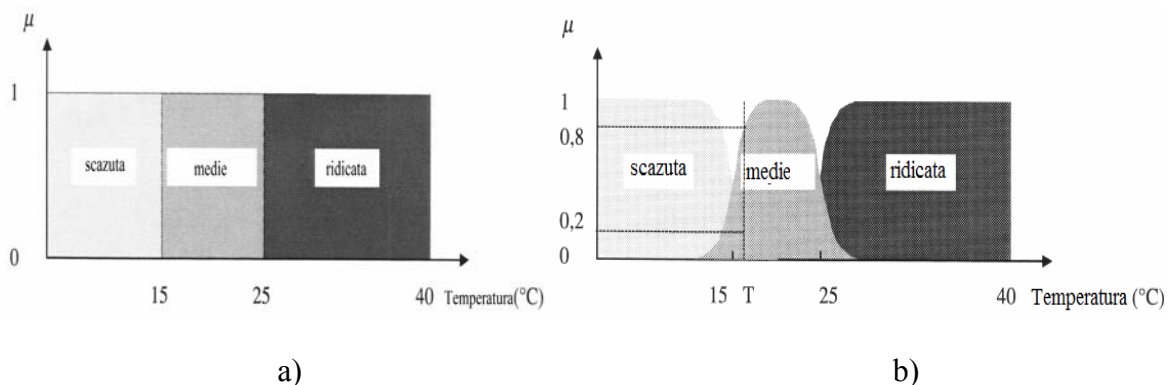


Figura 1: Exemplu de ansambluri considerate: a) logica booleană; b) logica fuzzy

Figure 1: Exemple d'ensembles considérés en: a) logique booléenne; b) logique floue

Temperatura nu poate lua două calificative în același timp. În logica fuzzy, gradul de apartenență devine o funcție care poate lua o valoare reală între 0 și 1 inclusiv. De exemplu, $\mu_{medie}(T)$ cuantifică faptul că temperatura poate fi considerată medie. În acest caz, temperatura poate fi privită, atât scăzută cu un grad de apartenență de 0,2, cât și medie cu un grad de apartenență de 0,8 (Fig. 1b): $\mu_{scazuta}(T)=0.2, \mu_{medie}(T)=0.8, \mu_{ridicata}(T)=0$. Pentru variabila fuzzy x , se va defini un set/mulțime fuzzy A pe un univers de discurs X , printr-o funcție numită grad de apartenență:

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1], \quad x \rightarrow \mu_A(x). \quad (1)$$

Universul discursului este de setul/mulțimea valorilor reale care poate cuprinde variabila fuzzy x , iar $\mu_A(x)$ este gradul de apartenență al elementului x în mulțimea fuzzy A (Fig.2a). Mai general, domeniul de definiție

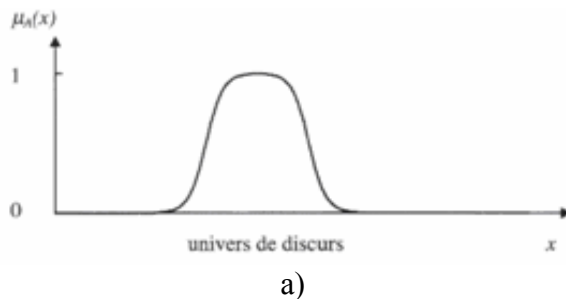
Elle ne peut pas prendre deux qualificatifs à la fois. En logique floue, le degré d'appartenance devient une fonction qui peut prendre une valeur réelle comprise entre 0 et 1 inclus. Par exemple, $\mu_{moyenne}(T)$, permet de quantifier le fait que la température puisse être considérée comme moyenne. Dans ce cas, la température peut être considérée, à la fois, comme faible avec un degré d'appartenance de 0,2 et comme moyenne avec un degré d'appartenance de 0,8 (Figure 1b): $\mu_{faible}(T)=0,2, \mu_{moyenne}(T)=0,8, \mu_{élevée}(T)=0$.

Pour la variable floue x , on définit un ensemble flou A sur un univers de discours X par une fonction degré d'appartenance:

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1], \quad x \rightarrow \mu_A(x). \quad (1)$$

L'univers de discours est l'ensemble des valeurs réelles que peut prendre la variable floue x et $\mu_A(x)$ est le degré d'appartenance

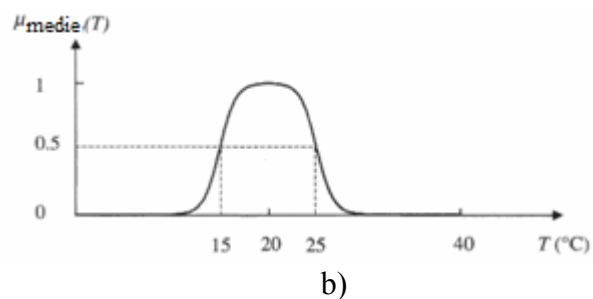
al funcției $\mu_A(x)$ poate fi redus la un subset al mulțimii X [14]. Este posibil să avem mai multe funcții de apartenență, fiecare caracterizând un subset fuzzy. Acest lucru rezultă prin combinarea tuturor subseturilor fuzzy ale universului de discurs; un ansamblu fuzzy al variabilei fuzzy x [6]. Uneori prin greșeli de limbaj, subseturile fuzzy sunt adesea confundate cu setul fuzzy.



a)

Figura 2: a) Reprezentarea unui set fuzzy prin funcția sa de apartenență; b) Cazul setului fuzzy mediu al variabilei Temperatură

de l'élément x à l'ensemble flou A (Figure 2a). Plus généralement, le domaine de définition de $\mu_A(x)$ peut être réduit à un sous-ensemble de X [14]. On peut ainsi avoir plusieurs fonctions d'appartenance, chacune caractérisant un sous-ensemble flou. C'est par l'association de tous les sous-ensembles flous de l'univers de discours, que l'on obtient l'ensemble flou de la variable floue x [6]. Par abus de langage, les sous-ensembles flous sont fort souvent confondus avec l'ensemble flou.



b)

Figure 2: a) Représentation d'un ensemble flou par sa fonction d'appartenance; b) Cas de l'ensemble flou "moyenne" de la variable Température

În exemplul nostru, variabila fuzzy este temperatura, iar universul de discurs este intervalul real $[0,40]$. Se atribuie acestei variabile trei sub-seturi fuzzy: scăzută, medie și ridicată. Fiecare se caracterizează prin funcția sa grad de apartenență: $\mu_{scăzută}(T)$, $\mu_{medie}(T)$, $\mu_{ridicată}(T)$. Se poate defini funcția grad de apartenență μ_{medie} pe tot universul de discurs:

$$\mu_{medie} = \begin{cases} \frac{1}{1 + \exp(15 - x)}; x \in [0,20] \\ 1 - \frac{1}{1 + \exp(25 - x)}; x \in [20,40] \end{cases} \quad (2)$$

1.1. Operatori și norme

Ca și în teoria mulțimilor clasice, se definește intersecția, reuniunea mulțimilor fuzzy și complementul unui mulțimi fuzzy. Aceste relații sunt descrise de operatorii “și”, “sau” și “nu”. Funcții membru noi legate de acești operatori sunt stabilite astfel:

$$x \text{ aparține lui } A \text{ și } B \Leftrightarrow x \in A \cap B \Leftrightarrow \mu_{A \cap B}(x),$$

Dans notre exemple, la variable floue est la température, l'univers de discours est l'ensemble des réels de l'intervalle $[0, 40]$. On attribue à cette variable trois sous-ensembles flous: faible, moyenne et élevée. Chacun est caractérisé par sa fonction degré d'appartenance: $\mu_{faible}(T)$, $\mu_{moyenne}(T)$, $\mu_{élevée}(T)$. On peut définir la fonction degré d'appartenance $\mu_{moyenne}$ sur tout l'univers de discours:

$$\mu_{moyenne} = \begin{cases} \frac{1}{1 + \exp(15 - x)}; x \in [0,20] \\ 1 - \frac{1}{1 + \exp(25 - x)}; x \in [20,40] \end{cases} \quad (2)$$

1.2. Opérateurs et normes

Comme dans la théorie des ensembles classiques, on définit l'intersection, l'union des ensembles flous ainsi que le complémentaire d'un ensemble flou. Ces relations sont traduites par les opérateurs "et", "ou" et "non". De nouvelles fonctions d'appartenance liées à ces opérateurs sont

x aparține lui A și B $\Leftrightarrow x \in A \cup B \Leftrightarrow \mu_{A \cup B}(x)$,

x aparține complementului lui A $\Leftrightarrow x \in \bar{A} \Leftrightarrow \mu_{\bar{A}}(x)$.

Operatorul “și” este definit printr-o normă triunghiulară (T-Norm): $T:[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$
 $(x,y) \rightarrow z = xTy$

T are următoarele proprietăți: comutativitate ($xTy = yTx$), asociativitate ($xT(yTz) = (xTy)Tz$), monotonicitate ($xTz < yTz$ și $x < y$) și admite 0 ca element de absorbție și 1 ca element neutru ($0Tx = 0$, $1Tx = x$). În mod similar, operatorul ”sau” este definit de o co-normă triunghiulară (T^*) pe care o numim s-norma (S): $S:[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, $(x,y) \rightarrow z = xSy$; S posedă în egală măsură proprietățile de comutativitate, asociativitate și monotonicitate. Se admite 1 ca element de absorbție și 0 ca element neutru. Folosind legea lui Morgan, putem asocia fiecărei t -norme, s -norma definită prin: $xSy = 1 - (1-x)T(1-y)$.

Operatorii cei mai utilizați în logica fuzzy sunt:

- Operatorul “și” pentru t -normă, care corespunde intersecției a două mulțimi A și B . Poate fi realizat prin:

Funcția “Min”: $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$,
 Funcția aritmetică “Produs”:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x),$$

- Operatorul ”și” pentru s -normă, ce corespunde reuniunii a două seturi A și B . Poate fi realizat prin:

Funcția ”Max”: $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$,

Funcția aritmetică ”Sumă”: $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x)$,

- Operatorul ”nu” este realizat prin:
 $\mu_A(x) = 1 - \mu_A(x)$.

1.3. Deducția

În logica clasică, regula raționamentului *modus ponens* permite pornind de la două aserțiuni, x este $\square_n A'$ și dacă x este $\square_n A$, atunci y este $\square_n B$, să concluzionăm că y este $\square_n B$. În logica fuzzy regula este numită *modus ponens generalizată* și permite pornind de la aserțiunile x este $\square_n A'$ și dacă x este $\square_n A$ atunci y este $\square_n B$. Deducția este operația de agregare de norme. Fără a intra în detalii

établies: x appartient à A et B $\Leftrightarrow x \in A \cap B \Leftrightarrow \mu_{A \cap B}(x)$,

x appartient à A ou B $\Leftrightarrow x \in A \cup B \Leftrightarrow \mu_{A \cup B}(x)$,

x appartient au complément de A $\Leftrightarrow x \in \bar{A} \Leftrightarrow \mu_{\bar{A}}(x)$.

L'opérateur "et" se définit par une norme triangulaire (t-norme): $T:[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$
 $(x,y) \rightarrow z = xTy$

T possède les propriétés suivantes: commutativité ($xTy = yTx$), associativité ($xT(yTz) = (xTy)Tz$), monotonicité ($xTz < yTz$ et $x < y$) et admet 0 comme élément absorbant et 1 comme élément neutre ($0Tx = 0$, $1Tx = x$). De même, l'opérateur "ou" se définit par une co-norme triangulaire (T^*) qu'on appelle aussi s-norme (S): $S:[0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, $(x,y) \rightarrow z = xSy$; S possède également les propriétés de commutativité, d'associativité et de monotonicité. Elle admet 1 comme élément absorbant et 0 comme élément neutre. A l'aide de la loi de Morgan, on peut associer à chaque t-norme, la s-norme définie par: $xSy = 1 - (1-x)T(1-y)$.

Les opérateurs les plus utilisés en logique floue sont:

- L'opérateur "et" pour la t-norme, qui correspond à l'intersection de deux ensembles A et B . Il peut être réalisé par

• La fonction "Min": $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$,

• La fonction arithmétique "Produit": $\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$,

• L'opérateur "ou" pour la s-norme, qui correspond à l'union de deux ensembles A et B . Il peut être réalisé par:

• La fonction "Max": $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$,

• La fonction arithmétique "Somme": $\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x)$,

• L'opérateur "non" est réalisé par: $\mu_A(x) = 1 - \mu_A(x)$.

1.3. Inférence

En logique classique, la règle de raisonnement du *modus ponens* permet, à partir des deux assertions, x est A et si x est A alors y est B , de conclure que y est B . En

de formulări matematice, bazate pe conceptele de sub-seturi fuzzy, de grafuri (Γ este graful care definește relația (R) de A față B) și de proiecție (B' este proiecția lui A' pe B din graful Γ), este posibil să se definească setul B' prin relația:

$$\forall y \in B, \mu_{B'}(y) = \sup_{x \in A} \mu_{A'xB \cap \Gamma}(x, y).$$

Se poate spune că gradul de apartenență al fiecărui element y al setului B' este mai mare sau egal cu gradul de apartenență al perechii (x, y) la intersecția setului A' cu graful y din relația R . Acesta din urmă este calculat utilizând funcția "Min" pentru operatorul "și" din intersecția:

$$\mu_{A'xB \cap \Gamma}(x, y) = \min(\mu_{A'}(x), \mu_R(x, y)).$$

În cazul nostru, ne vor interesa deducțiile cu mai multe reguli. Într-adevăr, în cazuri de comandă și control, variabile fuzzy au mai multe seturi de apartenență. Astfel, mai multe reguli pot fi activate simultan. Regulile de inferență pot fi descrise în mai multe moduri:

a) Lingvistic: regulile sunt scrise în mod explicit, ca în exemplu următor: DACĂ temperatura este mare, iar viteza este mică ATUNCI tensiunea este pozitivă ridicată sau DACĂ temperatura este medie și viteza este scăzută ATUNCI tensiunea este pozitivă.

b) Simbolic: este de fapt o descriere lingvistică care înlocuiește seturile fuzzy cu abrevieri.

c) Pentru matrice de inferență: acesta reunește toate regulile de inferență sub formă de tabel.

În cazul unui tabel bidimensional, intrările tabelului reprezintă seturi fuzzy ale variabilelor de intrare (temperatura T și viteza V). Intersecția dintre o coloană și o linie definește setul fuzzy ale variabilelor de ieșire definit de normă. Există tot atâtea celule câte reguli sunt.

logique floue, la règle s'appelle modus ponens généralisé et permet à partir des assertions, x est A' et si x est A alors y est B . L'inférence est l'opération d'agrégation des règles. Sans entrer dans les détails de formalisation mathématique, qui se basent sur les notions dessous-ensembles flous, de graphes (Γ est le graphe définissant la relation (R) de A vers B) et de projection (B' est la projection sur B de A' par le graphe Γ), il est possible de définir l'ensemble B' par:

$$\forall y \in B, \mu_{B'}(y) = \sup_{x \in A} \mu_{A'xB \cap \Gamma}(x, y).$$

C'est à dire que le degré d'appartenance de chaque élément y de fi à l'ensemble flou B' est égal au plus grand degré d'appartenance des couples (x, y) à l'intersection de l'ensemble A' avec le graphe Y de la relation R . Ce dernier est calculé en utilisant la fonction "Min" pour l'opérateur "et" de l'intersection: $\mu_{A'xB \cap \Gamma}(x, y) = \min(\mu_{A'}(x), \mu_R(x, y))$. En ce qui nous concerne, nous allons nous intéresser aux inférences avec plusieurs règles. En effet, dans le cas de la commande et de la régulation, les variables floues ont plusieurs ensembles d'appartenance. Ainsi plusieurs règles peuvent être activées en même temps. Les règles d'inférences peuvent être décrites de plusieurs façons,

a) Linguistiquement: on écrit les règles de façon explicite comme dans l'exemple suivant, **SI** (la température est élevée **ET** la vitesse est faible) **ALORS** la tension est grande positive **OU SI** (la température est moyenne **ET** la vitesse est faible) **ALORS** la tension est positive

b) Symboliquement: il s'agit en fait d'une description linguistique où l'on remplace la désignation des ensembles flous par des abréviations.

c) Par matrice d'inférence: elle rassemble toutes les règles d'inférences sous forme de tableau. Dans le cas d'un tableau à deux dimensions, les entrées du tableau représentent les ensembles flous des variables d'entrées (température T et vitesse V).

L'intersection d'une colonne et d'une ligne donne l'ensemble flou de la variable de sortie définie par la règle. Il y a autant de cases que de règles.

Tabelul 1. Exemplu

U		T		
		F	M	E
V	F	Z	P	GP
	E	Z	Z	P

Tableau 1. Exemple

U		T		
		F	M	E
V	F	Z	P	GP
	E	Z	Z	P

Regulile care descriu acest tablou sunt (sub formă simbolică):

DACĂ (T este F **ȘI** V este F) **ATUNCI** $U=Z$ **SAU**

DACĂ (T este M **ȘI** V este F) **ATUNCI** $U=P$ **SAU**

DACĂ (T este E **ȘI** V este F) **ATUNCI** $U=GP$ **SAU**

DACĂ (T este F **ȘI** V este E) **ATUNCI** $U=Z$ **SAU**

DACĂ (T este M **ȘI** V este E) **ATUNCI** $U=Z$ **SAU**

DACĂ (T este E **ȘI** V este E) **ATUNCI** $U=P$

În exemplul de mai sus, am reprezentat regulile care sunt activate la un moment dat de celulele colorate □ în gri:

DACĂ (T este M **ȘI** V este F) **ATUNCI** $U=P$ **SAU** **DACĂ** (T este E **ȘI** V este F) **ATUNCI** $U=GP$.

Uneori, nu toate celulele din tablou sunt completate, și atunci vorbim de reguli de inferență incomplete. Acest lucru nu înseamnă că ieșirea nu există, ci mai degrabă semnifică faptul că gradul de apartenență este zero pentru regula în cauză. Am definit gradul de apartenență al variabilei la sub-setul fuzzy. Vom prezenta metodele de deducție care ne permit să ajungem acolo. Aceste metode diferă în principal prin maniera în care vor realiza operatorii (aici "ȘI" și "SAU") utilizați în regulile de inferență. În continuare vom prezenta cele mai frecvente metode de inferență utilizate (Max-Min, Max-Produs, Sumă-Produs).

1.3.1. Metode de inferență: Max-Min, Max-Produs și Sumă-Produs

Les règles que décrit ce tableau sont (sous forme symbolique):

SI (T est F **ET** V est F) **ALORS** $U=Z$ **OU**

SI (T est M **ET** V est F) **ALORS** $U=P$ **OU**

SI (T est E **ET** V est F) **ALORS** $U=GP$ **OU**

SI (T est F **ET** V est E) **ALORS** $U=Z$ **OU**

SI (T est M **ET** V est E) **ALORS** $U=Z$ **OU**

SI (T est E **ET** V est E) **ALORS** $U=P$

Dans l'exemple ci-dessus, on a représenté les règles qui sont activées à un instant donné par des cases sombres: **SI** (T est M **ET** V est F) **ALORS** $U=P$ **OU** **SI** (T est E **ET** V est F) **ALORS** $U=GP$. Il arrive que toutes les cases du tableau ne soient pas remplies, on parle alors de règles d'inférences incomplètes. Cela ne signifie pas que la sortie n'existe pas, mais plutôt que le degré d'appartenance n'est nul pour la règle en question. Il s'agit maintenant de définir les degrés d'appartenance de la variable de sortie à ses sous-ensembles flous. Nous allons présenter les méthodes d'inférence qui permettent d'y arriver. Ces méthodes se différencient essentiellement par la manière dont vont être réalisés les opérateurs (ici "ET" et "OU") utilisés dans les règles d'inférence. Nous présentons les trois méthodes d'inférence les plus usuelles (Max-Min, Max-Produit et Somme-Produit).

1.3.1. Méthodes des inférence: Max-Min, Max-Produit et Somme-Produit

Le méthode Max-Min réalise l'opérateur "ET" par la fonction "Min", la conclusion "ALORS" de chaque règle par la fonction "Min" et la liaison entre toutes les règles (opérateur "OU") par la fonction Max. La dénomination de cette méthode, dite Max-

Metoda Max-Min realizează operatorul "ȘI" prin funcția "Min", concluzia "ATUNCI" a fiecărei reguli prin funcția "Min" și legătura între toate regulile (operatorul "SAU") prin funcția Max. Denumirea acestei metode, Max-Min sau "Implicația Mamdani", își are rădăcinile în modalitatea de a obține operatorii ATUNCI și SAU ai inferenței. Ilustrăm exemplul precedent unde doar două reguli sunt activate (Fig. 3a).

Min ou "implication de Mamdani", est due à la façon de réaliser les opérateurs ALORS et OU de l'inférence. Reprenons l'exemple précédent où seulement deux règles sont activées (Fig.3a).

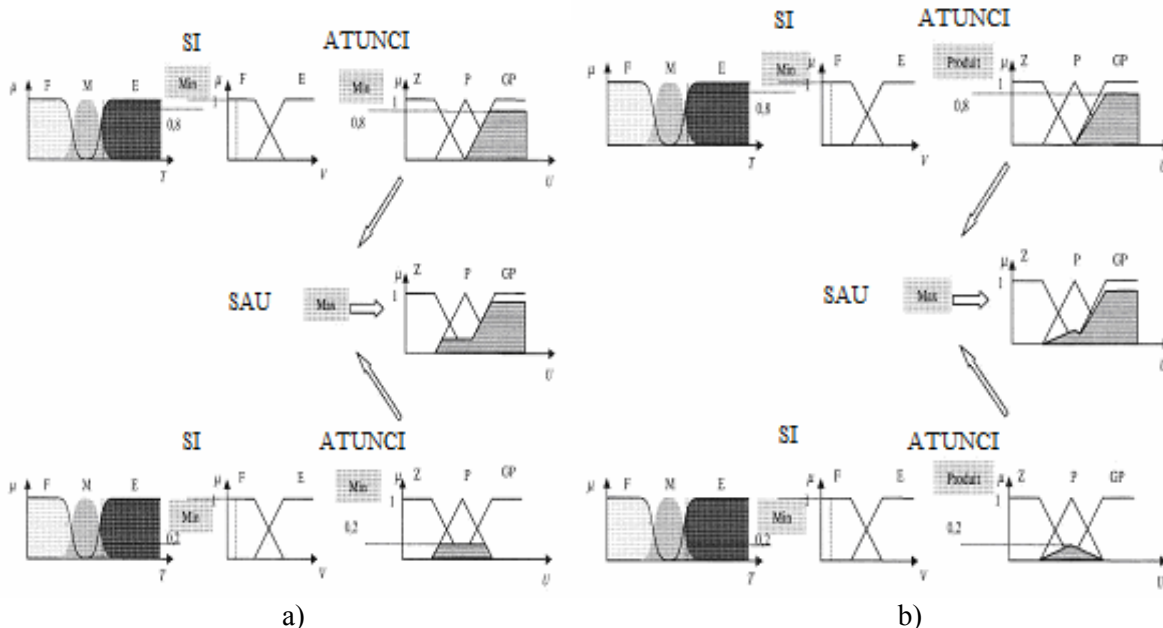


Figura 3: Exemple de inferență: a) Max-Min; b) Max-Produs

Figure 3: Exemple d'inférence: a) Max-Min; b) Max-Produit

Variabila T este ridicată, cu un grad de apartenență de 0,8 și medie cu un grad de apartenență de 0,2. Viteza V este scăzută, cu un grad de apartenență de 1. Aplicarea primei reguli de inferență oferă un grad de apartenență la starea de 0,8 (minimum din cauza operatorului ȘI între cele două grade de apartenență). Astfel se obține o "funcție de apartenență parțială" desenată cu gri care este limitată la 0,8. În mod similar, cea de-a doua regulă dă naștere la o funcție de apartenență limitată la 0,2. Funcția de apartenență rezultantă corespunde la maxim la două funcții de apartenență parțiale, deoarece regulile sunt legate prin operatorul SAU. Diferența față de metoda anterioară stă în modul de realizare a concluziei "ATUNCI". În acest caz, vom folosi produsul așa cum se arată în figura 3b. Reținem că funcțiile

La variable T est Elevée avec un degré d'appartenance de 0,8 et Moyenne avec un degré d'appartenance de 0,2. La vitesse V est faible avec un degré d'appartenance de 1. L'application de la première règle d'inférence donne un degré d'appartenance à la condition de 0,8 (minimum dû à l'opérateur ET entre les deux degrés d'appartenance). On obtient ainsi une "fonction d'appartenance partielle" dessinée en gris qui est écrêtée à 0,8. De manière similaire, la seconde règle donne lieu à une fonction d'appartenance écrêtée à 0,2. La fonction d'appartenance résultante correspond au maximum des deux fonctions d'appartenance partielles puisque les règles sont liées par l'opérateur OU. La différence par rapport à la méthode précédente réside dans la manière de réaliser la conclusion "ALORS". Dans ce cas, on utilise le produit

parțiale de apartenență au aici aceeași formă ca și funcția membru pe care acestea apar, înmulțite cu un factor de scară vertical care corespunde cu gradul de apartenență obținut prin operatorul "SI". Aceasta este cunoscută sub denumirea de "implicația Larsen".

În acest caz operatorul "ȘI" este realizat de produs, ca și concluzia "ATUNCI". Cu toate acestea, operatorul "SAU" este realizat de valorile medii ale gradelor de apartenență implicate în deducție. Alte metode au fost dezvoltate, fiecare cu o variantă specifică. Cu toate acestea, metoda Max-Min este de departe cel mai des utilizată datorită simplității sale.

2. Structura unui regulator fuzzy

2.1. Introducere

După ce am enunțat conceptele de bază și termenii lingvistici utilizați în logica fuzzy, în continuare vom prezenta structura unui controler/regulator fuzzy. Realizarea unui controler fuzzy reprezintă o problemă cu mai multe modalități de a genera operatorii fuzzy și implicația. Cu toate că lista de metode prezentate nu este exhaustivă, se găsesc deja un număr mare de variante. În cele ce urmează, ne vom concentra în principal pe controlerul de viteză utilizat în comanda vectorială a mașinii asincrone [1], [2], [9], [10], [11]. Viteza de referință poate fi controlată de către un operator extern. Mărimea de ieșire a acestui regulator de viteză este imaginea cuplului electromagnetic de referință pe care ansamblul comandă-convertoare-mașină trebuie să o genereze. La flux constant, acest cuplu este proporțional cu valoarea curentului I_{qs}^* (curent de referință I_{qs}) impus la intrarea buclei de reglare a curentului. Schema de bază a unui regulator este bazată pe structura unui regulator clasic cu diferența că vom păstra forma incrementală. Acest lucru oferă la ieșire, nu cuplul sau curentul aplicat, ci mai degrabă majorările acestei mărimi.

comme illustré par la Figure 3b. On remarque que les fonctions d'appartenances partielles ici ont la même forme que la fonction d'appartenance dont elles sont issues multipliées par un facteur d'échelle vertical qui correspond au degré d'appartenance obtenu à travers l'opérateur "ET". On l'appelle également "implication de Larsen". Dans ce cas, l'opérateur "ET" est réalisé par le produit, de même que la conclusion "ALORS". Cependant, l'opérateur "OU" est réalisé par la valeur moyenne des degrés d'appartenance intervenant dans l'inférence. D'autres méthodes ont été élaborées, ayant chacune une variante spécifique. Néanmoins, la méthode Max-Min est de loin la plus utilisée à cause de sa simplicité.

2. Structure d'un régulateur flou

2.1. Introduction

Après avoir énoncé les concepts de base et les termes linguistiques utilisés en logique floue, nous présentons la structure d'un contrôleur flou. La réalisation d'un régulateur flou pose un problème lié aux nombreuses manières de réaliser les opérateurs flous et l'implication. Bien que la liste des méthodes présentées ne soit pas exhaustive, on se retrouve déjà avec un grand nombre de variantes. Nous allons présenter les principales différences entre ces dernières et justifier, sinon expliquer, nos choix. L'aboutissement à une implantation expérimentale constitue le but à atteindre après les étapes de modélisation et de simulation. Dans ce qui suit, nous nous intéressons principalement au régulateur de vitesse au sein d'une commande vectorielle de la machine asynchrone [1], [2], [9], [10], [11]. La vitesse de référence peut être pilotée par un opérateur externe. La grandeur de sortie de ce régulateur de vitesse est l'image du couple électromagnétique de référence que l'ensemble commande-convertisseur-machine doit générer. A flux constant, ce couple est proportionnel au courant I_{qs}^* (courant I_{qs} , de référence) imposé en entrée à la boucle de régulation de courant. Le schéma de base du régulateur repose sur la

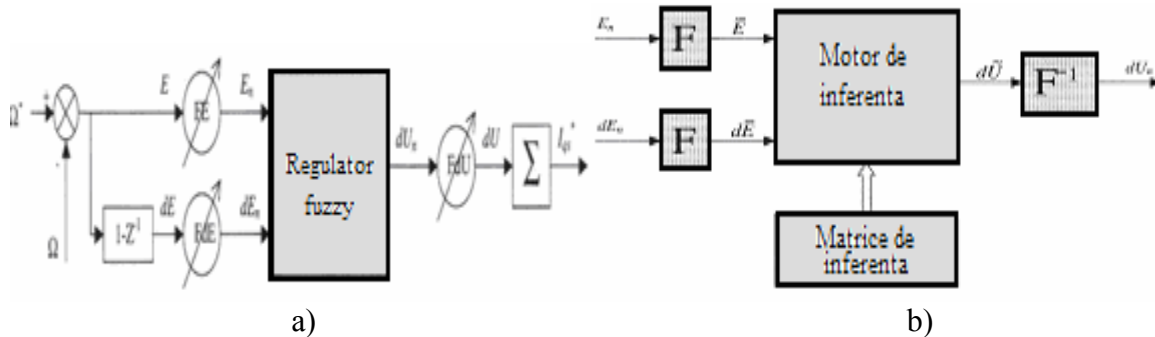


Figura 4: a) Schema unui controler fuzzy de viteză; b) Structura controlerului fuzzy

structure d'un régulateur classique à la différence que l'on va retenir la forme incrémentale. Cette dernière donne en sortie, non pas le couple ou le courant à appliquer mais plutôt l'incrément de cette grandeur.

Figure 4: a) Schéma synoptique d'un régulateur flu de vitesse; b) Structure du régulateur flou

În schema de mai sus vom nota cu:
E: eroarea definită de relația:

$$E(k) = \Omega^*(k) - \Omega(k), \quad (3)$$

dE: derivata erorii definită de relația:

$$dE(k) = \frac{E(k) - E(k-1)}{T_e}, \quad (4)$$

T_e este perioada de eșantionare.
 Ieșirea controlerului este dată de relația:

$$I_{qs}^*(k) = I_{qs}^*(k-1) + dU(k), \quad (5)$$

Regăsim la intrarea și la ieșirea controlerului fuzzy, amplificări denumite "factori de scală" care pot schimba sensibilitatea controlerului fuzzy fără a schimba structura. Mărimile indexate cu "n" sunt mărimi normalizate la intrarea și la ieșirea controlerului fuzzy. Regulile de inferență permit determinarea comportamentului controlerului fuzzy. Aceasta ar trebui să includă etape intermediare care să îi permită să transforme mărimile în mărimi fuzzy și invers; acestea fiind etapele de "fuzificare" și "defuzificare" (Figura 4b).

2.2. Fuzificarea și inferența

Sunt definite mai întâi seturile fuzzy de variabile de intrare și funcțiile lor de

Dans le schéma ci-dessus comme dans ce qui suit, nous notons:

E: l'erreur, elle est définie par:

$$E(k) = \Omega^*(k) - \Omega(k), \quad (3)$$

dE: la dérivée de l'erreur, elle est approchée par:

$$dE(k) = \frac{E(k) - E(k-1)}{T_e}, \quad (4)$$

T_e étant la période d'échantillonnage. La sortie du régulateur est donnée par:

$$I_{qs}^*(k) = I_{qs}^*(k-1) + dU(k), \quad (5)$$

On retrouve en entrée et en sortie du contrôleur flou des gains dits "facteurs d'échelle" qui permettent de changer la sensibilité du régulateur flou sans en changer la structure. Les grandeurs indicées "n" sont donc les grandeurs normalisées à l'entrée et à la sortie du contrôleur flou. Les règles d'inférences permettent de déterminer le comportement du contrôleur flou. Il doit donc inclure des étapes intermédiaires qui lui permettent de passer des grandeurs réelles vers les grandeurs floues et vice versa; ce sont les étapes de fuzzification et de defuzzification (Figure 4b).

2.2. Fuzzification et inférence

Les ensembles flous des variables d'entrée et leurs fonctions d'appartenance sont à définir

apartenență. Etapa de fuzificare furnizează gradele de apartenență ale variabilei fuzzy la seturile sale fuzzy pe baza valorii reale a variabilei de intrare. Alegerea numărului de seturi fuzzy, a formelor funcțiilor de apartenență, de recuperare a acestor funcții și distribuție a lor pe universul de discurs nu este evidentă. Cu toate acestea, există factori care sunt mai importanți decât alții. O subdiviziune foarte fină a universului de discurs cu mai mult de șapte seturi fuzzy nu îmbunătățește comportarea dinamică a sistemului de reglat [3]. Din contră, putem obține comportamente neliniare destul de diferite, în funcție de modul în care funcțiile de apartenență ale seturilor fuzzy sunt dispuse pe universul de discurs. Am optat pentru funcții triunghiulare și trapezoidale pentru variabilele de intrare (figura 5a). Ele permit o ușoară punere în aplicare, iar stadiul de fuzificare solicită puțin timp de calcul la evaluarea sa în timp real:

$$\mu_P(E_n)=E_n=0,66 \quad \mu_Z(E_n)=1-\mu_P(E_n)=0,34$$

$$\mu_N(E_n)=0$$

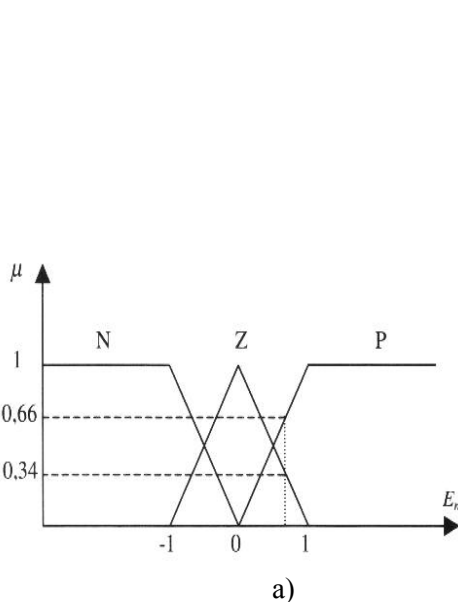


Figure 5: a) Fuzificarea erorii; b) Traectoria în planul fazei

Suprapunerea a două funcții de apartenență este 1, adică intersecția lor are loc la $\mu=0.5$. O suprapunere insuficientă duce la o zonă în

en premier lieu. L'étape de fuzzification permet de fournir les degrés d'appartenance de la variable floue à ses ensembles flous en fonction de la valeur réelle de la variable d'entrée. Le choix du nombre des ensembles flous, de la forme des fonctions d'appartenance, du recouvrement des ces fonctions et de leur répartition sur l'univers de discours n'est pas évident. Il y a cependant des facteurs qui sont plus important que d'autres. Une subdivision très fine de l'univers de discours sur plus de sept ensembles flous n'apporte en général aucune amélioration du comportement dynamique du système à réguler [3]. Par contre, on peut obtenir des comportements non linéaires assez différents en fonction de la manière dont les fonctions d'appartenance des ensembles flous sont disposées sur l'univers de discours. Nous avons opté pour des fonctions triangulaires et trapézoïdales pour les variables d'entrées (Figure 5a). Elles permettent une implantation facile et l'étape de fuzzification ne requiert alors que peu de temps de calcul lors de son évaluation en temps réel: $\mu_P(E_n)=E_n=0,66$ $\mu_Z(E_n)=1-\mu_P(E_n)=0,34$ $\mu_N(E_n)=0$.

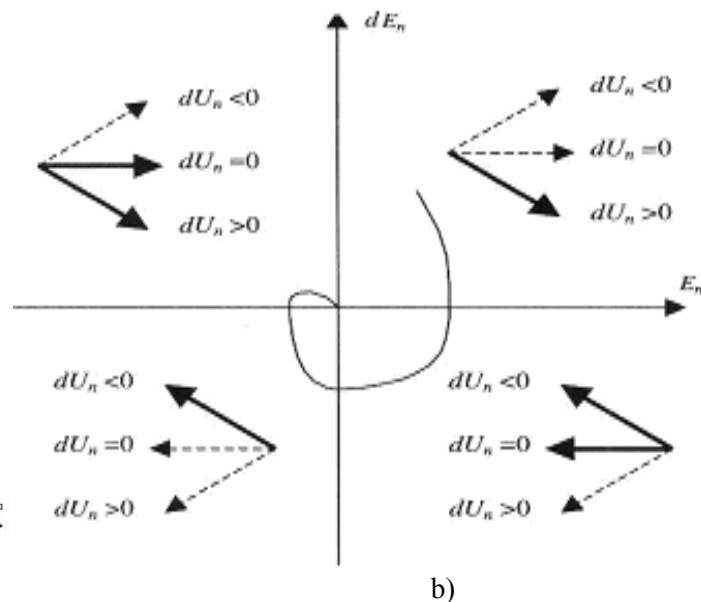


Figure 5: a) Fuzzification de l'erreur; b) Trajectoire dans le plan de phase

Le recouvrement de deux fonctions d'appartenance voisines est de 1; c'est à dire que leur croisement s'effectue à $\mu=0,5$. Un

care nicio regulă de inferență nu este solicitată. În mod similar, o suprapunere foarte importantă, mai ales cu un grad de apartenență peste unitate, conduce la o aplatizare a caracteristicii controlerului [3]. Trecerea unei funcții de apartenență la o funcție vecină trebuie să fie netedă, acolo unde sunt mai puțin de două reguli de deducție care sunt solicitate simultan. De asemenea, este necesar să putem fuzifica variabila de ieșire. Astfel, în cazul interferenței și fuzificării, avem nevoie să cunoaștem seturile fuzzy ale acestor variabile precum și funcțiile lor de apartenență. Din punct de vedere al locației se utilizează un tabel de fuzificare care conține gradele de apartenență la seturile fuzzy pentru valori discrete pe care le ia variabila pe universul de discurs. După cum am menționat anterior, ne vom baza pe o matrice sau tabel de deducție pentru această etapă. Construirea unui astfel de tabel de deducție stă la baza unei analize calitative a procesului. În cazul nostru este vorba de o analiză în planul fazei a traiectoriei pe care vrem să o dăm sistemului. O acțiune într-un fel sau altul al comenzii determină deplasarea în direcția indicată de săgeți (Figura 5b). Liniile punctate reprezintă direcțiile pe care nu dorim să le dăm sistemului pentru că atunci ar fi divergent. În cazul în care atribuim trei seturi fuzzy, Negativ, Zero și Pozitiv, fiecărei variabile fuzzy, putem scrie pentru fiecare cadran comportamentul adoptat. De exemplu:

Cadranul 1: DACĂ E_n este P ȘI dE_n este P ATUNCI dU_n este P

Cadranul 2: DACĂ E_n este N ȘI dE_n este P ATUNCI dU_n este Z

Remarcăm cu toate acestea că, în cazul acestui cadran, s-ar putea dori imprimarea unui comportament diferit, căutând comanda necesară anulării erorii; am putea alege ca regulă: DACĂ E_n este N ȘI dE_n este P ATUNCI dU_n este N.

Dacă vom păstra numai trei seturi fuzzy și două intrări, matricea de inferență este următoarea (Tab 2):

recouvrement insuffisant voir inexistant conduit à une zone où aucune règle d'inférence n'est sollicitée. De même, un recouvrement trop important, surtout avec un degré d'appartenance près de l'unité, conduit à un aplatissement de la caractéristique du régulateur [3]. Le passage d'une fonction d'appartenance à sa voisine doit s'effectuer en douceur de manière à ce qu'il y ait au moins deux règles d'inférences qui soient sollicitées en même temps. Il est également indispensable de pouvoir fuzzifier la variable de sortie. En effet, lors de l'inférence et de la defuzzification, on a besoin de connaître les ensembles flous de cette variable ainsi que leurs fonctions d'appartenance. Du point de vue implantation, [6] utilise une table de fuzzification donnant les degrés d'appartenance aux ensembles flous pour des valeurs discrètes que prend la variable sur l'univers de discours. Comme nous l'avons précédemment évoqué, nous allons nous baser sur une matrice ou table d'inférence pour cette étape. La construction d'une telle table d'inférence repose sur une analyse qualitative du processus. Dans notre cas c'est une analyse dans le plan de phase de la trajectoire que l'on souhaite donner au système. Une action dans un sens ou dans l'autre de la commande provoque le déplacement dans une direction indiquée par les flèches (Figure 5b). En pointillés sont indiquées les directions que l'on ne souhaite pas donner au système car il serait alors divergent. Si l'on attribue trois ensembles flous, Négatif, Zéro et Positif, à chacune des variables floues, on peut écrire pour chaque quadrant le comportement à adopter. Par exemple:

Quadrant 1: SI E_n est P ET dE_n est P ALORS dU_n est P

Quadrant 2: SI E_n est N ET dE_n est P ALORS dU_n est Z

On remarque cependant que dans le cas de ce quadrant, on pourrait souhaiter donner un comportement différent en sollicitant la commande de manière à freiner l'annulation de l'erreur; on pourrait tout aussi bien choisir comme règle: SI E_n est N ET dE_n est P ALORS dU_n est N. Si l'on ne retient que trois

ensembles flous et deux entrées, la matrice d'inférence est la suivante (Tab. 2):

Tabelul 2

dU_n		dE_n		
		N	Z	P
E_n	N	N	N	Z
	Z	N	Z	P
	P	Z	P	P

Tableau 2.

dU_n		dE_n		
		N	Z	P
E_n	N	N	N	Z
	Z	N	Z	P
	P	Z	P	P

Tabelul 3

dU_n		dE_n				
		GN	N	Z	P	GP
E_n	GN	GN	GN	N	N	Z
	N	GN	N	N	Z	P
	Z	N	N	Z	P	P
	P	N	Z	P	P	GP
	GP	Z	P	P	GP	GP

Tableau 3.

dU_n		dE_n				
		GN	N	Z	P	GP
E_n	GN	GN	GN	N	N	Z
	N	GN	N	N	Z	P
	Z	N	N	Z	P	P
	P	N	Z	P	P	GP
	GP	Z	P	P	GP	GP

Dacă, din contră, am împărțit universul de discurs în mai multe seturi fuzzy și / sau care iau în considerare derivata a doua (sdE_n), apoi alegerea regulilor devine mai largă și optimizarea acestuia depinde de sistemul de reglat. În cazul în care atribuim cinci seturi fuzzy (GN, N, Z, P și GP) variabilelor, o alegere posibilă este dată în Tab.3 (G vine de la Mare). Cea ce urmează nu are decât opt reguli care să ofere o creștere de comandă nenulă (spre deosebire de setul fuzzy Z). Este folosită pentru controlul proceselor de ordinul I [12].

Si par contre, on subdivise l'univers de discours avec plus d'ensembles flous et/ou qu'on prenne en compte la dérivée seconde (sdE_n), alors le choix des règles devient plus vaste et son optimisation dépend du système à réguler. Dans le cas où l'on attribue cinq ensembles flous (GN, N, Z, P et GP) aux variables, un choix possible est le suivant Tab.3 (G signifie Grand). Celle qui suit ne possède que huit règles qui donnent un incrément de commande non nul (différent de l'ensemble flou Z). Elle convient à la régulation de processus du type 1^{er} ordre [12].

Tabelul 4.

dU_n		dE_n				
		GN	N	Z	P	GP
E_n	GN	GN	GN	GN	GN	Z
	N	GN	N	N	Z	P
	Z	N	N	Z	P	P
	P	N	Z	P	P	GP
	GP	Z	GP	GP	GP	GP

Tableau 4.

dU_n		dE_n				
		GN	N	Z	P	GP
E_n	GN	GN	GN	GN	GN	Z
	N	GN	N	N	Z	P
	Z	N	N	Z	P	P
	P	N	Z	P	P	GP
	GP	Z	GP	GP	GP	GP

Tabelul 5

dU_n		dE_n				
		GN	N	Z	P	GP
E_n	GN	Z	Z	GN	Z	Z
	N	Z	Z	N	Z	Z
	Z	N	N	Z	P	P
	P	Z	Z	P	Z	Z
	GP	Z	Z	GP	Z	Z

Tableau 5

dU_n		dE_n				
		GN	N	Z	P	GP
E_n	GN	Z	Z	GN	Z	Z
	N	Z	Z	N	Z	Z
	Z	N	N	Z	P	P
	P	Z	Z	P	Z	Z
	GP	Z	Z	GP	Z	Z

Dacă în plus, nu reținem decât regulile care prevăd un set fuzzy diferit de Z, procesul de inferență este redus semnificativ. Acesta este un exemplu de inferență incompletă. Prin urmare, inferența se realizează pe baza

Si de plus, on ne retient que les règles donnant un ensemble flou différent de Z, le processus d'inférence se retrouve sensiblement allégé. C'est un exemple de table d'inférence incomplète. L'inférence se

matricelor ce urmează a fi descrise. Incepem prin utilizarea unui operator T-normă pentru a defini descrierea simbolică asociată cu premisa regulii; adică a realiza funcția "ȘI". Se trece apoi la inferența în sine, care constă în a caracteriza variabila fuzzy de ieșire pentru fiecare regulă. Aceasta este etapa de concluzie "ATUNCI". Etapa finală a deducției, numită agregarea regulilor, permite sintetizarea acestor rezultate intermediare. Vom folosi o s-normă. După cum am văzut, modalitatea de a realiza operatorii va da naștere la diferite controlere fuzzy. Cele mai cunoscute sunt:

- Mamdani: aceste controlere sunt numite simbolic deoarece premisa și concluzia sunt simbolice [6], [7]. După inferență, trebuie să treacă printr-o etapă de "defuzificare" pentru a obține valoarea reală a comenzii de aplicat.
 - Sugeno: sunt numite de tip procedură [13]. Într-adevăr, doar premisa este simbolică. Concluzia, ceea ce corespunde comenzii, este în mod direct o constantă reală sau o expresie polinomială. Stabilirea de reguli de inferență se bazează de obicei pe una din următoarele [13] poziții:
 - Experiența operatorului și / sau de know-how-ul inginerului în reglare și control.
 - Un model fuzzy al procesului pentru care doriți să sintetizați controlerul.
 - Acțiunile operatorului, dacă el nu ajunge să exprime lingvistic regulile pe care le utilizează implicit.
 - Învățarea; se spune că sinteza regulii se face printr-un proces automat, numit de supraveghetor. De multe ori sunt implicate rețelele neuronale.
- Evaluare regulilor de inferență este o operație deterministă; este foarte posibil să se formeze o matrice a controlerului. Cu toate acestea este interesant, în unele sisteme complexe, să menținem abordarea lingvistică mai degrabă decât să se aibe prea multe valori specifice [4]. În plus, un algoritm lingvistic poate fi examinat și discutat în mod direct de către cineva care nu este un operator, dar care are o experiență cu privire la comportamentul sistemului. Formularea lingvistică a ieșirii poate utiliza în egală măsură controlerul fuzzy în buclă deschisă, dând astfel

fait donc sur la base des matrices que l'on vient de décrire. On commence par utiliser un opérateur t-norme pour définir la description symbolique associée à la prémisse de la règle; c'est à dire réaliser le "ET". On passe ensuite à l'inférence proprement dite qui consiste à caractériser la variable floue de sortie pour chaque règle. C'est l'étape de la conclusion "ALORS". Enfin, la dernière étape de l'inférence, appelée agrégation des règles, permet de synthétiser ces résultats intermédiaires. On utilise une s-norme. Comme nous l'avons vu, la manière de réaliser les opérateurs va donner lieu à des contrôleurs flous différents. Les régulateurs les plus courants sont ceux de:

- Mamdani: Ces contrôleurs sont dits symboliques car la prémisse et la conclusion sont symboliques [6], [7]. Après l'inférence, il faut passer par une étape de "defuzzification" afin d'obtenir la valeur réelle de la commande à appliquer.
 - Sugeno: Ils sont dits de type procédural [13]. En effet, seule la prémisse est symbolique. La conclusion, qui correspond à la commande, est directement une constante réelle ou une expression polynomiale. L'établissement des règles d'inférence est généralement basé sur un des points suivants [13]:
 - L'expérience de l'opérateur et/ou du savoir-faire de l'ingénieur en régulation et contrôle.
 - Un modèle flou du processus pour lequel on souhaite synthétiser le régulateur.
 - Les actions de l'opérateur; s'il n'arrive pas à exprimer linguistiquement les règles qu'il utilise implicitement.
 - L'apprentissage; c'est dire que la synthèse de règle se fait par un procédé automatique également appelé superviseur. Souvent, des réseaux neuronaux y sont associés.
- L'évaluation des règles d'inférence étant une opération déterministe, il est tout à fait envisageable de mettre sous forme de tableau ce contrôleur. Il reste, toutefois, intéressant dans certains systèmes complexes, de garder l'approche linguistique plutôt que d'avoir à faire à un nombre trop important de valeurs

operatorului instrucțiunile de urmat. În cazul în care, după inferență, rămânem cu un set fuzzy de ieșire caracterizat prin apariția a mai mult de un maxim, acesta relevă existența a două norme conflictuale (Figura 6a). O zonă mare, plată (Figura 6b), consecință mai puțin gravă, indică faptul că normele, în ansamblul lor, sunt slabe și greșit formulate.

précises [4]. De plus, un algorithme linguistique peut être examiné et discuté directement par quelqu'un qui n'est pas l'opérateur mais qui possède de l'expérience sur le comportement du système. La formulation linguistique de la sortie permet également d'utiliser le régulateur flou en boucle ouverte donnant ainsi à l'opérateur les consignes à adopter. Si, après inférence, on se retrouve avec un ensemble flou de sortie caractérisé par l'apparition de plus d'un maximum, cela révèle l'existence d'au moins deux règles contradictoires (Figure 6a). Une grande zone plate (Figure 6b), moins grave de conséquence, indiquerait que les règles, dans leur ensemble, sont faibles et mal formulées.

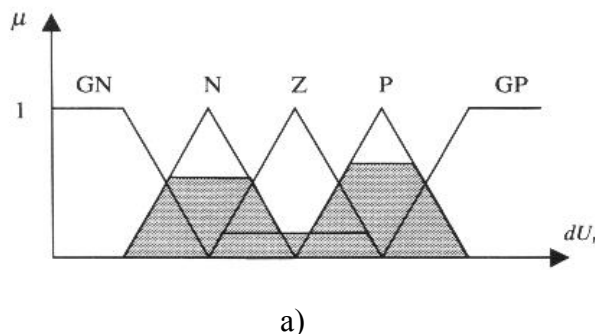


Figura 6: Setul fuzzy de ieșire.

2.3. Defuzificarea

Prin această etapă se revine la mărimile de ieșire reale. Această etapă este calculată pornind de la gradele de apartenență ale tuturor seturilor fuzzy ale variabilor de ieșire, ca fiind abscisa ce corespunde valorii acestei ieșiri. Sunt utilizate diferite metode:

- Metoda centrului de greutate: este metoda de defuzificare cea mai cunoscută. Abscisa centrului de greutate al funcției de apartenență rezultată din inferență corespunde valorii de ieșire a controlerului.

$$dU_n = \frac{\int x\mu_R(x)dx}{\int \mu_R(x)dx} \quad (6)$$

Se pare că, cu cât funcția de apartenență rezultată este mai complicată, cu atât procesul de defuzificare devine mai lung și costisitor, ca timp de calcul.

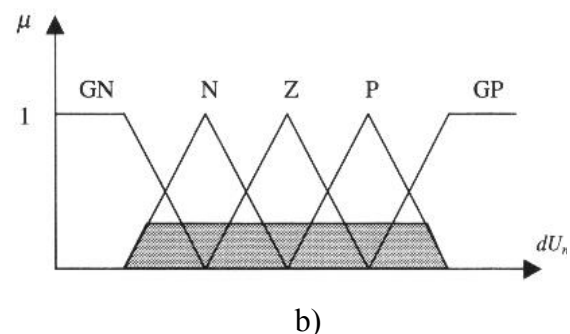


Figure 6: Ensemble flou de sortie.

2.3. Defuzzification

Par cette étape se fait le retour aux grandeurs de sortie réelles. Il s'agit de calculer, à partir des degrés d'appartenance à tous les ensembles flous de la variable de sortie, l'abscisse qui correspond à la valeur de cette sortie. Différentes méthodes sont utilisées:

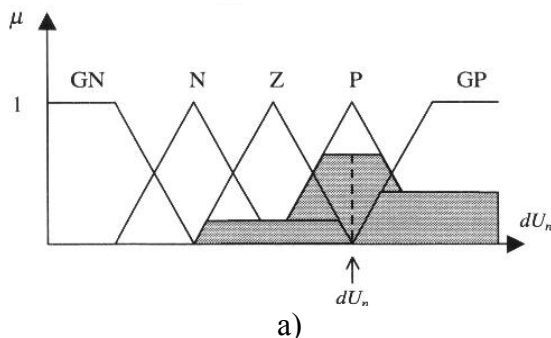
- Méthode du centre de gravité: c'est la méthode de defuzzification la plus courante. L'abscisse du centre de gravité de la fonction d'appartenance résultant de l'inférence correspond à la valeur de sortie du régulateur.

$$dU_n = \frac{\int x\mu_R(x)dx}{\int \mu_R(x)dx} \quad (6)$$

Il apparaît que plus la fonction d'appartenance résultante est compliquée, plus le processus de defuzzification devient long et coûteux en temps de calcul.

- Metoda prin valoare maximă: aceasta metodă este mult mai simplă. Valoarea de ieșire este aleasă ca abscisă a valorii maxime a funcției de apartenență.
- Metoda înălțimilor ponderate: aceasta corespunde metodei centrului de greutate, atunci când funcțiile de apartenență nu se suprapun.

$$dU_n = \frac{\sum x \mu_{R_i}(x)}{\sum \mu_{R_i}(x)} \quad (7)$$



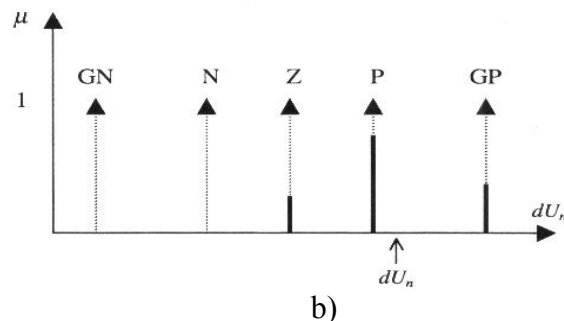
a)

Figure 7: Defuzificare prin: a) valoare maximă ; b) metoda înălțimilor ponderate

Această metodă este folosită mai ales în cazul în care funcțiile de apartenență ale variabilei de ieșire sunt de tipul *singleton*. În acest caz, calculul centrului de greutate este mult simplificat. Controlerul nu este de tipul Mamdani, ci de tipul Sugueno datorită modului în care ieșirea este calculată. Controlerul fuzzy cu două intrări este reprezentat de suprafața sa caracteristică (Figura 8). Aceasta exprimă variațiile valorii reale a ieșirii controlerului în funcție de intrări, atunci când acestea parcurg universul de discurs.

- Méthode par valeur maximum: cette méthode est beaucoup plus simple. La valeur de sortie est choisie comme l'abscisse de la valeur maximale de la fonction d'appartenance.
- Méthode des hauteurs pondérées: elle correspond à la méthode de centre de gravité quand les fonctions d'appartenance ne se recouvrent pas.

$$dU_n = \frac{\sum x \mu_{R_i}(x)}{\sum \mu_{R_i}(x)} \quad (7)$$



b)

Figure 7: Defuzzification par: a) valeur maximum ; b) la méthode des hauteurs pondérées

Cette méthode est surtout utilisée quand les fonctions d'appartenance de la variable de sortie sont des singletons. Dans ce cas, le calcul du centre de gravité ce trouve grandement simplifié. Le régulateur n'est plus de type Mamdani mais de type Sugueno de part la façon dont la sortie est calculée. Le régulateur flou à deux entrées est représenté par sa surface caractéristique (Figure 8). Cette dernière exprime les variations de la valeur réelle de la sortie du régulateur en fonction des entrées quand ces dernières parcourent l'univers de discours.

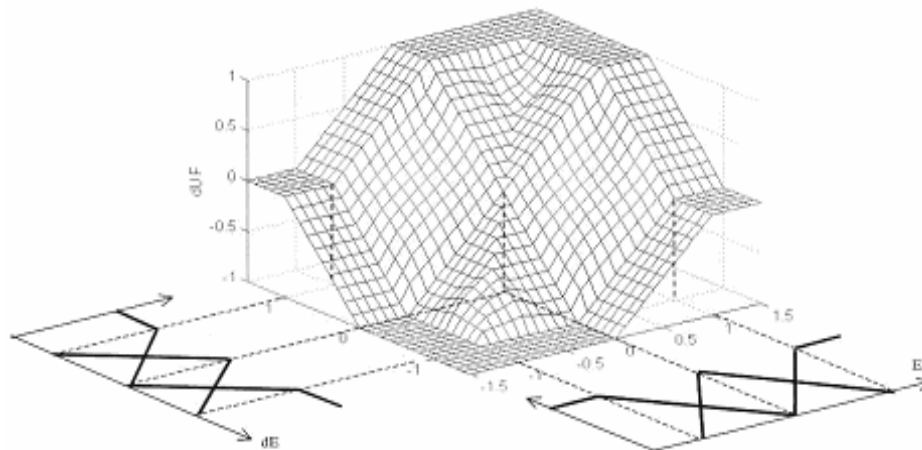


Figura 8: Suprafața caracteristică a unui controler fuzzy

Figure 8: Surface caractéristique d'un régulateur flou.

3. Simularea reglării fuzzy a acționărilor asincrone

În cadrul acționărilor asincrone se poate implementa un regulator fuzzy cvasi-PI standard utilizând ecuația de mișcare a acționării și ecuația cuplului electromagnetic:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - (M_0 + k_1\omega + k_2\omega^2)$$

$$M_e = p_2 \frac{L_m}{L_r} \Psi_{sq} i_{sq}$$

unde M_0 este componenta constantă a cuplului static M_s ; K_1 și K_2 sunt constante de proporționalitate; M_e este cuplul electromagnetic; ω este viteza unghiulară; i_{sq} este curentul statoric în lungul axei q ; L_m este inductanța mutuală dintre stator și rotor; L_s este inductivitatea statorului. Mărimea de ieșire u din regulatorul de viteză va acționa asupra cuplului electromagnetic de referință, care la flux constant este proporțional cu curentul i_{sq} . Notând cu T_e perioada de eșantionare, cu e eroarea de viteză definită de diferența $e(kT_e) = w_p(kT_e) - w(kT_e)$, și cu Δe derivata numerică a erorii de reglare, aproximată prin fracția $\Delta e(kT_e) = \frac{e(kT_e) - e[(k-1)T_e]}{T_e}$, atunci ieșirea regulatorului va fi $i_{sq}(kT_e) = i_{sq}[(k-1)T_e] + \Delta u(kT_e)$. În dezvoltarea acestui regulator se pornește de la expresia ecuației discrete

3. Simulation de regler à induction actionnaires floue

Dans les actionnaires asynchrones peuvent déployer un régulateur PI en utilisant la norme quasi floue équation du mouvement des actionnaires et équation du couple électromagnétique:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_e - (M_0 + k_1\omega + k_2\omega^2)$$

$$M_e = p_2 \frac{L_m}{L_r} \Psi_{sq} i_{sq}$$

où M_0 la composante constante du couple statique M_s , K_1 et K_2 sont des constantes de proportionnalité, M_e est le couple électromagnétique, ω est la vitesse angulaire, i_{sq} est le courant du stator selon axe q , L_m est inductance mutuelle entre le stator et le rotor est L_s inductance stator. La taille de u de sortie du régulateur de vitesse agira sur la référence de couple électromagnétique au flux constant est proportionnel au courant i_{sq} . Notant avec T_e vous lors du prélèvement, le e erreur est définie par la différence $e(kT_e) = w_p(kT_e) - w(kT_e)$, et avec Δe numériques dérivés de ajustement erreur, estimé par la fraction $\Delta e(kT_e) = \frac{e(kT_e) - e[(k-1)T_e]}{T_e}$, puis la sortie du régulateur sera $i_{sq}(kT_e) = i_{sq}[(k-1)T_e] + \Delta u(kT_e)$. Dans élaboration de ces règles doit commencer à partir de la

afere un algoritm de reglare numerică cvasicontinuală de tip PI (proporțional-integrator), în varianta incrementală $\Delta u_n = K_p \Delta e_n + K_I e_n = K_p (\Delta e_n + a e_n)$, în care parametrii K_p , K_I și a se explicitiază funcție de parametrii regulatorului PI convențional, cu funcția de transfer $H_R(s) = \frac{k_R}{sT_i} (1+sT_i)$,

unde, k_R este un factor de amplificare, iar T_i este o constantă de integrare. Acceptând ca utilă în descrierea vagă a fiecărei variabile de intrare următorii trei termeni lingvistici: N-negativ, Z-zero, P-pozitiv, definiți prin funcțiile de apartenență de formă triunghiulară și trapezoidală (fig.9.a, b-Matlab); se implementează ușor, etapa de *fuzzificare* necesitând un timp de calcul mic, atunci când sunt evaluate în timp real.

expression de équation discrètes liées à un ajustement algorithmique numérique de type cvasicontinual PI, la version incrémentale $\Delta u_n = K_p \Delta e_n + K_I e_n = K_p (\Delta e_n + a e_n)$, les paramètres K_p , K_I et explicitement par les paramètres du régulateur PI classique, la fonction de transfert $H_R(s) = \frac{k_R}{sT_i} (1+sT_i)$, où

k_R est un facteur d'amplification, et T_i est une constante de d'intégration. Accepter que vague description d'utilité de chaque variable d'entrée des trois prochains termes linguistiques: N-négatif, Z-Zero, P-positive, définie par des fonctions d'appartenance des triangulaires et trapézoïdales (fig.9.a,b-Matlab); être mises en œuvre facilement, étape fuzzification nécessitant moins de temps de calcul, lorsqu'elle est mesurée en temps réel.

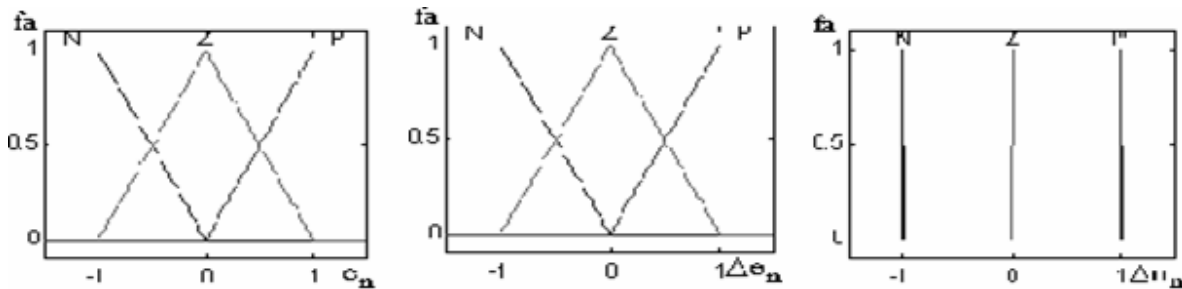


Fig. 9. Graficul funcțiilor de apartenență adiacente variabilelor de intrare și ieșire.

Figure 9. Composition graphique ci-fonctions de variables d'entrée et de sortie.

Pentru variabila de ieșire, comanda Δu_n , se alege aceiași termeni lingvistici definiți prin funcții de apartenență tip singleton (fig.9.c). Pentru calculul comenzii ferme i_{sq} (*defuzificarea* informației vage), nu se utilizează metoda valorii maxime (utilizată atunci când funcțiile de apartenență a variabilelor de ieșire sunt de tip singleton), ci metoda centrului de greutate (blocul notat cu S, și plasat pe ieșirea regulatorului). Matricea de decizie corespunzătoare are forma din tabelul 1 cu reprezentarea grafică ilustrată în fig.10.a, dacă se ia pentru blocul R-F un regulator Mamdani, iar pentru factorii de scară F_e , $F_{\Delta e}$ și $F_{\Delta u}$, valorile 100, 10 și 5.

Pour la sortie variable, Δu_n commande doit être choisi dans les mêmes termes linguistiques définis par des fonctions de type Singleton adhésion (fig.9.c). Afin de calculer l'entreprise i_{sq} (information defuzification vague), ne pas utiliser la méthode de la valeur maximale (utilisés lorsque les fonctions d'appartenance des variables de sortie sont de type Singleton), mais le centre de gravité de la méthode (bloc noté par S, et placé sur le régulateur de sortie). Matrice de décision proprement dite à la forme (tab.), avec la représentation graphique illustre la fig.10a si elle est prise pour un bloc régulateur RF Mamdani et facteurs d'échelle pour le F_e , $F_{\Delta e}$ et $F_{\Delta u}$, les valeurs 100, 10 et 5.

Tabelul 1 – Tableau 1

Δu_n		Δe_n		
		N	Z	P
e_n	N	N	N	Z
	Z	N	Z	P
	P	Z	P	P

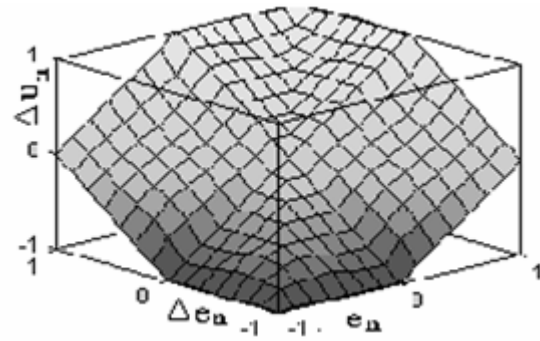
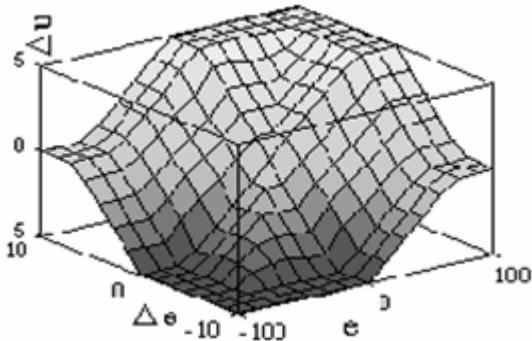


Fig. 10. Suprafața de comandă a regulatorului fuzzy: a) în valori reale; b) normalizată.

Figure 10. Contrôles de surface contrôleur flou: a) valeurs réelles b) normalisé.

Dacă în cazul regulatorului cu 3 termeni lingvistici reglajul se face prin intermediul *factorilor de scară*, în cazul utilizării unui regulator cu 5 termeni lingvistici, acesta se realizează intuitiv, prin modificarea formei sau distribuției funcțiilor de apartenență (fie ale variabilelor de intrare, fie ale variabilei de ieșire) pe mulțimea de bază. Pentru variabilele de intrare e_n și Δe_n se va alege o repartiție a uniformă a funcțiilor de apartenență pe mulțimea de bază (fig.10), iar pentru variabila de ieșire Δu_n , funcțiile de apartenență corespunzătoare termenilor lingvistici Nm (negativ mic) și Pm (pozitiv mic) sunt apropiate de funcția de apartenență aferentă termenului lingvistic Z (zero). Reglajul se va realiza intuitiv, știind că în asemenea cazuri, ieșirea reală a regulatorului (i_{sq}) va atinge o valoare limită (de saturație). Atunci când variabila de ieșire este foarte aproape de viteza prescrisă, termenii lingvistici Nm și Pm vor fi solicitați, și pentru că funcțiile lor de apartenență se găsesc foarte aproape de termenul lingvistic Z, răspunsul regulatorului va fi mai lent. Acest lucru necesită multiplicarea cu 2 a variabilei de ieșire în raport cu valoarea sa avută în cazul regulatorului cu 3 termeni lingvistici.

Si le régulateur cas avec 3 termes linguistiques se fait au moyen de l'ajustement des facteurs d'échelle, l'utilisation d'un régulateur de 5 termes linguistiques, il se fait intuitivement, en modifiant la forme ou des fonctions de distribution appartenance (comme les variables d'entrée ou de la variable sortie) sur l'ensemble de base. Pour les variables d'entrée e_n et Δe_n choisir une distribution uniforme de fonctions appartenant à l'ensemble de la base (fig.11) et la variable de sortie Δu_n , appartenance fonctions correspondantes termes linguistiques Nm (légèrement négative) et de Pm (légèrement positif) sont à proximité linguistique terme associés fonction d'appartenance Z (zéro). Régulation sera fait de manière intuitive, en sachant que dans de tels cas, le régulateur de la production réelle (i_{sq}) atteindra une valeur limite (saturation). Lorsque la variable de sortie est très proche de la vitesse prescrite termes linguistiques Nm et Pm sera appelé, et parce que leurs fonctions d'appartenance sont très proches de la langue terme Z, régulateur de la réponse sera plus lente. Cela nécessite multipliant par 2 la variable de sortie à la valeur qu'il avait lors de réglementation avec 3 termes linguistiques.

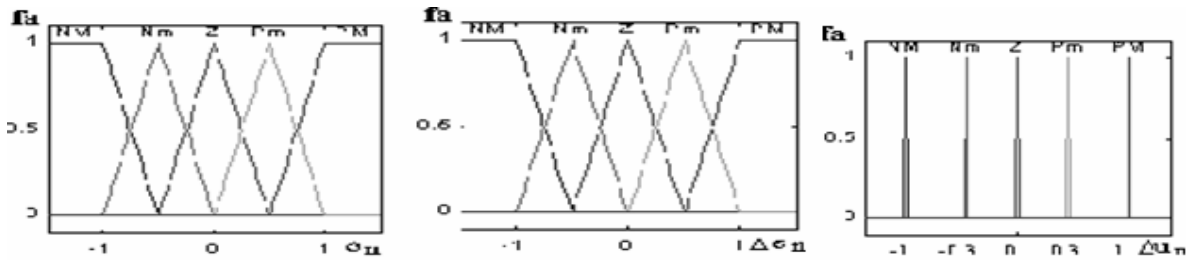


Fig.11. Graficul funcțiilor de apartenență adiacente variabilelor de intrare și ieșire

Figure 11. Composition graphique ci-fonctions de variables d'entrée et de sortie.

Suprafața de comandă este ilustrată în fig.10.a (considerând un regulator Mamdani), pe baza matricei de inferență. Suprafața caracteristică regulatorului, în coordonate normalizate, este ilustrată în fig.10b. Se va transpune în Simulink, schema structurală de reglare a vitezei. Acționarea asincronă va fi descrisă de ecuațiile cuplului electromagnetic și mișcării.

Surface de contrôle est indiquée dans fig.11.a (en considérant un régulateur de Mamdani) l'inférence basée sur la matrice. Régulateur de surface caractéristique en coordonnées normalisées est montré dans fig.12b. Elle transpose dans Simulink, régime d'ajustement structurel de la vitesse. Fonctionnement asynchrone sera décrit par des équations du couple électromagnétique et le mouvement.

Tabelul 2 / Tableau 2

Δu_n		Δe_n				
		NM	Nm	Z	Pm	PM
e_n	NM	NM	NM	Nm	Nm	Z
	Nm	NM	Nm	Nm	Z	Pm
	Z	NM	Nm	Z	Pm	PM
	Pm	Pm	Z	Pm	Pm	PM
	NM	Z	Pm	Pm	NM	PM

Față de regulatorul cu o mulțime de bază formată din 3 termeni lingvistici, apar un număr important de suprafețe, iar suprafețele corespunzătoare cadranelor 2 și 4 nu mai sunt nicidecum netede. Știind că reglajul vitezei se realizează acționând asupra factorilor de scară, pentru sinteza regulatorului se vor alege acei factori de scară care oferă un timp de răspuns rapid pentru viteză și un curent de pornire acceptabil.

Par rapport à un lot de régulateur de base composé de 3 termes linguistiques, il ya un certain nombre de domaines et les zones correspondantes cadrans sont 2 et 4 ne sont en aucune façon lisse. Sachant que le réglage de la vitesse est obtenue en agissant sur les facteurs d'échelle pour le régulateur de synthèse sera de choisir les facteurs d'échelle qui donne un temps de réponse rapide pour la vitesse et un départ acceptable en cours.

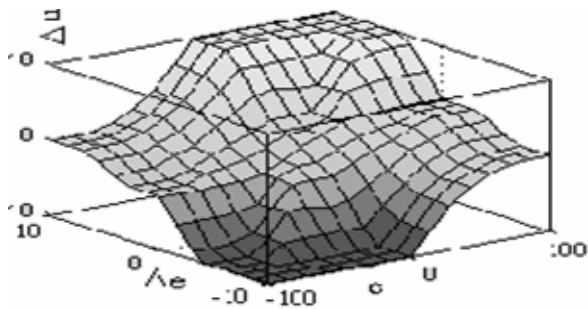


Fig.12. Suprafața de comandă a regulatorului *fuzzy*: a) în valori reale; b) normalizată.

Pentru acționarea cu parametri dați (fig.13), utilizând un regulator fuzzy cu 3 termeni lingvistici și factorii de scară F_e , $F_{\Delta e}$ și $F_{\Delta u}$, având valorile 100, 10 și 5, și considerând perioada de eșantionare $T_e=10^{-3}$ s, singurele variabile care se obțin pentru o pornire în gol și respectiv cu cuplul de ventilator, sunt ilustrate în fig.15 și 16. O creștere a factorului de scară $F_{\Delta u}$ al regulatorului nu contribuie la îmbunătățirea performanțelor (curentul va crește peste valoarea admisibilă). În același timp, sensibilitatea regulatorului în raport cu perturbațiile externe va crește, ceea ce îl va face inutilizabil din punct de vedere practic. Astfel, s-a demonstrat superioritatea regulatorului *fuzzy* (în cadranele 1 și 3) în raport cu regulatorul convențional PI (prin alegerea convenabilă a unor factori de scară). O analiză atentă în spațiu tri-dimensional a suprafeței de comandă a regulatorului *fuzzy* și a regulatorului PI convențional (fig.17a), ilustrează faptul că în cadranele 2 și 4 (corespunzătoare reversării de sens, diferența dintre comenzi Δu_{dif} (sau dintre suprafețele de comandă corespunzătoare reguletoarelor), este practic nulă (fig.17.b).

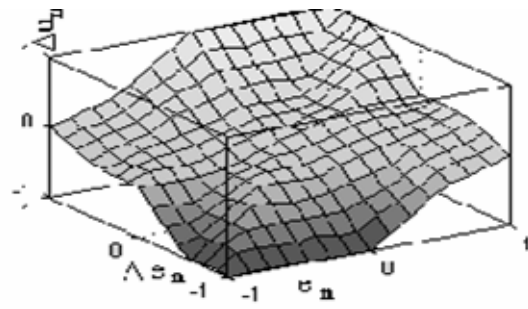


Figure 12. Contrôle de surface contrôleur flou: a) valeurs réelles b) normalisé.

Pour conduire les paramètres donner (fig.14) en utilisant un régulateur flou avec 3 termes linguistiques et des facteurs d'échelle F_e , $F_{\Delta e}$ et $F_{\Delta u}$, avec des valeurs de 100, 10 et 5, et compte tenu de la période d'échantillonnage $T_e=10^{-3}$ s, les seules variables qui sont obtenues pour un départ devant le filet et que le ventilateur de couple, est illustrée à la fig.15 et 16. Une augmentation du facteur d'échelle $F_{\Delta u}$ le régulateur ne contribue pas à améliorer les performances (tendance va s'accroître sur le montant déductible). Pendant ce temps, la sensibilité du régulateur contre les perturbations extérieures augmente, ce qui ne servira à rien en termes pratiques. Ainsi, le contrôleur flou a été démontré une supériorité (dans les horloges 1 et 3) comparé avec régulateur PI classique (par un choix approprié des facteurs d'échelle). Une analyse minutieuse en trois dimensions d'espace contrôleur de contrôle en surface floue et conventionnelles PI controller (fig.17a), montrent que les cadrans 2 et 4 (correspondant à inverser l'effet, la différence entre les commandes Δu_{dif} (ou dans des zones régulateurs de contrôle appropriées), est pratiquement nul (fig.17b).

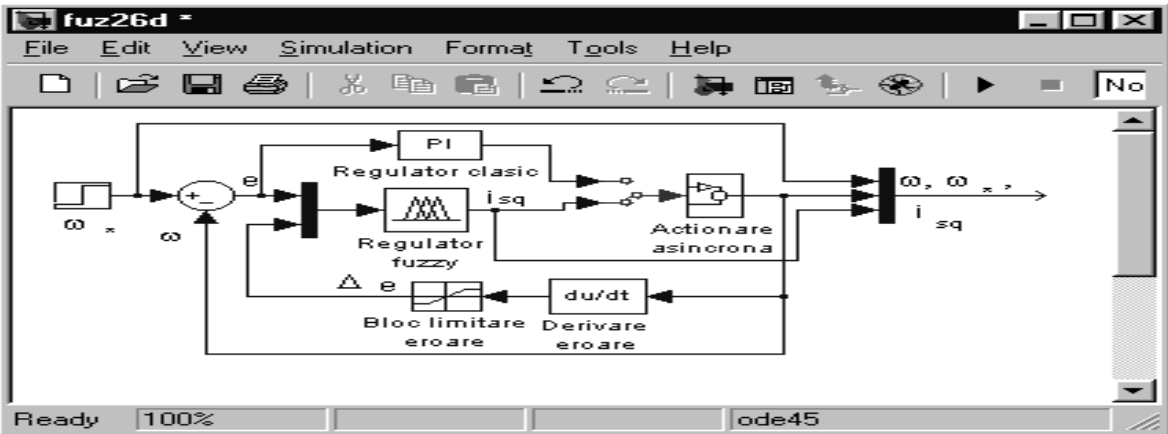


Fig. 13. Schema structurală bloc a reglării vitezei acțiunii cu R-F, în Simulink

Figure 13 Schéma de principe de l'ajustement structurel d'entraînement à vitesse RF

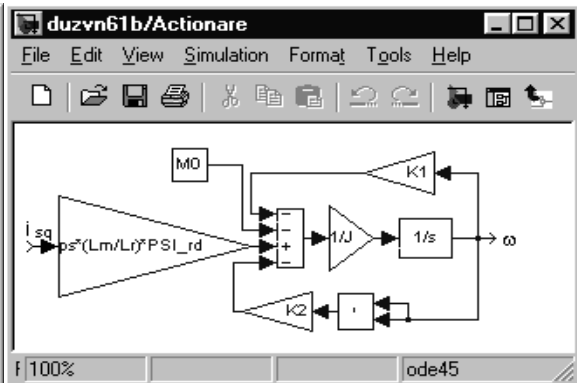
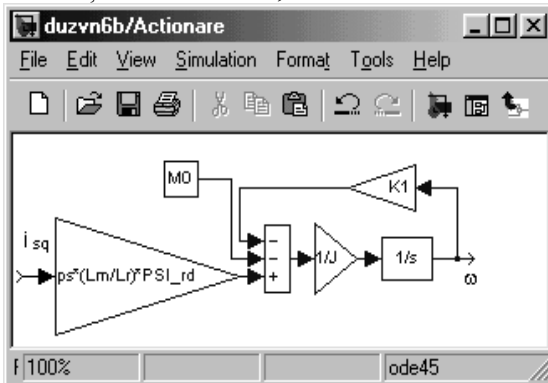


Fig.14. Schema structurală bloc a acțiunii, în Simulink: a) cu cuplu static dependent liniar de viteză; b) cu cuplu static dependent atât liniar, cât și cu pătratul vitezei

Figure 14. Schéma de principe de construction de l'opération, dans Simulink: a) avec la vitesse linéaire-couple statique à charge, b) couple de charge statique linéaire et le carré de la vitesse.

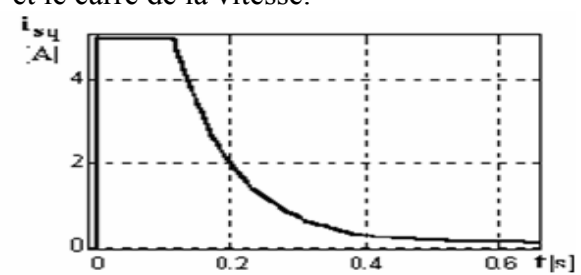
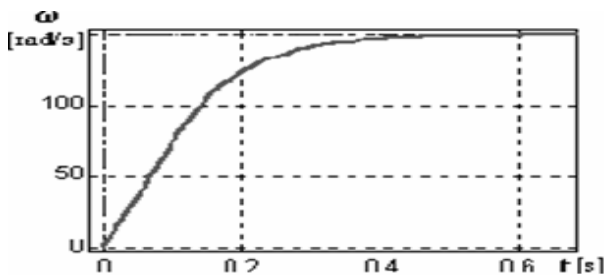


Fig. 15. Pornirea în gol a acțiunii ($L_m=0,1126H$, $L_r=0,1154H$, $p_s=2$, $J=4.10^{-3}kgm^2$, $\Psi_{rd}=0,3Wb$, $K_1=2,5.10^{-4}Nms$) până la $\omega^* =150rad.s^{-1}$): a) vitezei; b) curentului statoric

Figure 15. Début des objectifs de l'opération ($L_m=0,1126H$, $L_r=0,1154H$, $p_s=2$, $J=4.10^{-3}kgm^2$, $\Psi_{rd}=0,3Wb$, $K_1=2,5.10^{-4}Nms$) jusque a $\omega^* =150rad.s^{-1}$): a) vitesse; b) courant stator

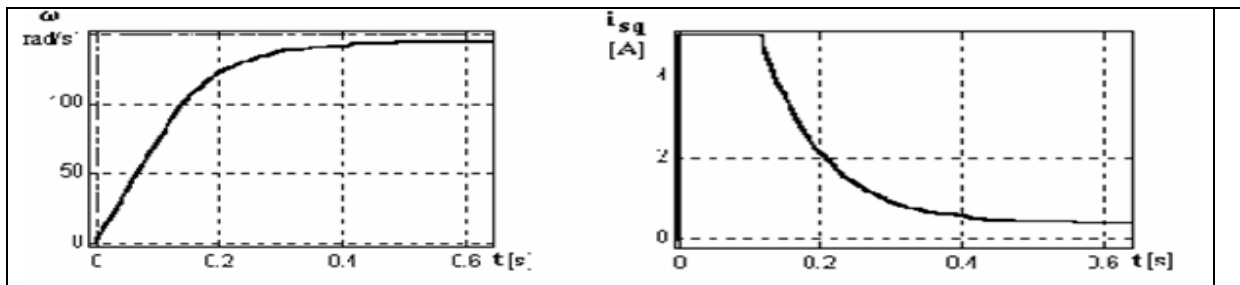


Fig. 16. Pornirea acționării ($K_2=0,1 \cdot 10^{-4}$ Nms), variația: a) vitezei; b) curentului statoric

Figure 16. Démarrage de l'entraînement ($K_2=0,1 \cdot 10^{-4}$ Nms), les changements dans: a) vitesse b) courant stator

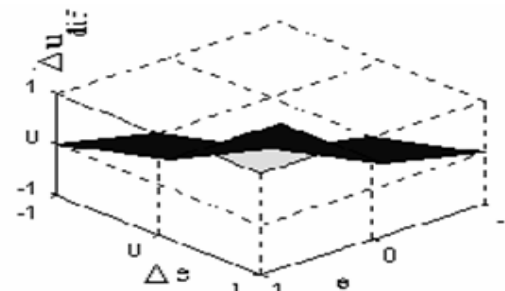
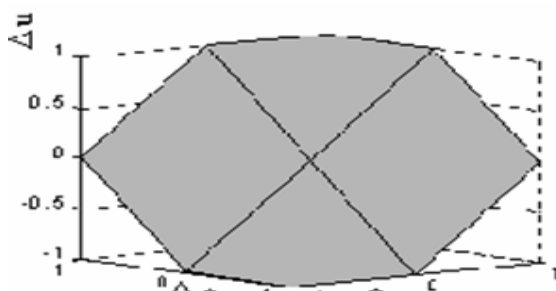


Fig. 17. Suprafațe de comandă: a) corespunzătoare regulatorul PI; b) corespunzătoare diferenței dintre suprafața de comandă a regulatorului fuzzy și cea a regulatorului PI

Figure 17. Surface de contrôle: a) appropriés régulateur PI, b) correspond à la différence entre la commande et le contrôleur de la zone floue de régulateur PI

4. Concluzii

Realizarea unui control eficient necesită o bună formulare a regulilor. În cazul nostru, analiza în planul fazei permite obținerea rapidă a unei matrice de reguli corecte și coerente. Acest lucru nu este valabil și pentru sistemele neliniare complexe, la care modelul este foarte complicat, chiar inexistent. De asemenea, ar trebui să se acorde o mare importanță proceselor ce prezintă timpuri morți.

Un exemplu de implementare a unui estimator fuzzy cu un controler fuzzy PI este dat în [9]. Simplitatea formelor funcțiilor de apartenență (alegerea formelor triunghiulare) a determinat punerea lui în aplicare. Totuși, trebuie să se acorde o atenție deosebită în timpul sintezei controlerului fuzzy.

Având în vedere că mașinile asincrone și convertorul static asociat pun probleme dificile în studiul comenzii lor, ne-am propus să analizăm metode care pot oferi o soluție la această comandă. Este evident imposibil să

4. Conclusion

L'obtention d'un contrôle performant requiert une bonne formulation des règles. Dans notre cas, l'analyse dans le plan de phase permet de dégager rapidement un tableau de règles correct. Ceci n'est pas le cas pour des systèmes non-linéaires complexes où le modèle est très compliqué sinon inexistant. Il convient également d'accorder une grande importance au processus présentant des temps morts. Un exemple d'association d'un estimateur flou à un régulateur PI flou est donné dans [9]. Il a permis de prendre en compte le retard caractéristique d'un four destiné à la fonte du verre. D'un point de vue pratique, on peut résumer dans les points suivants les éléments qui ont peu d'importance sur le comportement global du régulateur flou [5]. La forme des fonctions d'appartenance, d'où le choix de formes triangulaires à cause de la simplicité de mise en œuvre. Le choix des fonctions pour réaliser les opérateurs et le mécanisme

se identifice toate posibilitățile și combinațiile unde acestea pot interveni în proces. Am examina mai precis reglarea lor. A fost necesar să prezentăm mai întâi aceste metode și apoi să explicăm modalitățile cele mai simple de a le pune în aplicare. Decât să dezvoltăm metode foarte generale, trebuie îndreptată atenția pentru a realiza comanda vectorială a mașinii asincrone și de a analiza avantajele și dezavantajele acestor metode.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Baghli, L., Razik, H., Rezzoug, A., *Régulation floue de la vitesse dans une commande vectorielle de la machine asynchrone par orientation du flux rotorique*, LFA'96 Rencontres Francophones sur la logique floue et ses Applications, pp.40-46, Nancy, 4-5 Décembre 1996.
- [2] Boteanu N., Popescu M.C., Manolea Gh., Popescu-Perescu L., Brindusa C., *Optimal Control of Electric Drives Acceleration with Static Torque with Constant and Speed Proportional Component and Heating Outline* Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling and Simulation, pp.178-183, Istanbul, Turkey, may 30- 1 June 2009.
- [3] Bihler, H., *Réglages par logique floue*, Presses Polytechniques Romandes, pg.181, 1994.
- [4] King, P.J., Mamdani, E.H., *The application of fuzzy control Systems to industrial processes*, Automatica, vol.13, pp.235-242, 1977.
- [5] Lutaud-Brunet, M., *Identification et contrôle de processus par réseaux neuroflous*, Thèse de Doctorat de l'Université de d'Evry Val d'Essonne, 1996.
- [6] Mamdani, E.H., Assilian, S., *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller*, International Journal of Man-Machine Studies, vol.7, pp.311-323, 1975.
- [7] Mamdani, E.H., *Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers*, International Journal of Man-Machine Studies, vol. 8, pp.325-334, 1976.
- [8] Popescu M.C., *Estimarea și identificarea proceselor*, Editura Sitech, Craiova, pp.239-242, 2006.
- [9] Popescu M.C., *Comanda și optimizarea proceselor*, Editura Universitaria Craiova, pp. 255-276, 2007.

d'inférence (agrégation des règles: ALORS). Le choix de la méthode de defuzzification (hauteurs, C.G.) Par contre, il faut faire prêter une attention particulière, lors de la synthèse du régulateur flou. Au nombre et surtout à la répartition des fonctions d'appartenance sur l'univers de discours. A la table des règles.

Considérant que la machine asynchrone à cage et le convertisseur statique associé posent des problèmes difficiles à étudier pour sa commande, nous nous proposons d'analyser ce que les méthodes décrites peuvent apporter comme solution à cette commande. Il est évidemment impossible de cerner toutes les possibilités et les combinaisons où elles peuvent intervenir dans un tel processus. Nous examinerons plus précisément la régulation ainsi que son optimisation. Il nous apparaît nécessaire de commencer par présenter ces méthodes puis d'explicitier les manières les plus simples de les mettre en œuvre. Plutôt que développer des méthodes trop générales, nous cadrerons notre travail de façon à répondre à l'objectif fixé ici, la commande vectorielle de la machine asynchrone, et d'analyser les avantages et les inconvénients liés à ces méthodes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Baghli, L., Razik, H., Rezzoug, A., *Régulation floue de la vitesse dans une commande vectorielle de la machine asynchrone par orientation du flux rotorique*, LFA'96 Rencontres Francophones sur la logique floue et ses Applications, pp.40-46, Nancy, 4-5 Décembre 1996.
- [2] Boteanu N., Popescu M.C., Manolea Gh., Popescu-Perescu L., Brindusa C., *Optimal Control of Electric Drives Acceleration with Static Torque with Constant and Speed Proportional Component and Heating Outline* Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Automatic Control, Modelling and Simulation, pp.178-183, Istanbul, Turkey, may 30- 1 June 2009.
- [3] Bihler, H., *Réglages par logique floue*, Presses Polytechniques Romandes, pg.181, 1994.
- [4] King, P.J., Mamdani, E.H., *The application of fuzzy control Systems to industrial processes*,

- [10] Popescu M.C., Popescu L.G., Olaru O., *The predictive control applied to an induction drive*, The 4th International Federation of Automatic Control Conference on Management and Control of Production and Logistic, Proceedings IFAC-MCPL, pp.739-745, Vol.3, Editura Universitaria, Sibiu, 27-30, september, 2007.
- [11] Popescu M.C., Ilie B., Popescu L.G., Olaru O., *Simulation Hybrid Fuzzy Control of SCARA Robot*, Journal WSEAS Transactions on Systems and Control, Issue 2, Vol.3, pp.105-114, February 2008.
- [12] Rambault, L., *Conception d'une commande floue pour une boucle de régulation*, Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, 1993.
- [13] Takagi, T., Sugeno, M., *Dérivation of fuzzy control rules from human operator's control actions*, in Proc. IFAC Symp. On Fuzzy Information, Knowledge Representation and Décision Analysis, pp.55-60, July 1983.
- [14] Zadeh, L.A., *Fuzzy Sets*, Information and Control, vol.8, pp.338-353, 1965.
- Automatica, vol.13, pp.235-242, 1977.
- [5] Lutaud-Brunet, M., *Identification et contrôle de processus par réseaux neuroflous*, Thèse de Doctorat de l'Université de d'Evry Val d'Essonne, 1996.
- [6] Mamdani, E.H., Assilian, S., *An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller*, International Journal of Man-Machine Studies, vol.7, pp.311-323, 1975.
- [7] Mamdani, E.H., *Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers*, International Journal of Man-Machine Studies, vol. 8, pp.325-334, 1976.
- [8] Popescu M.C., *Estimarea și identificarea proceselor*, Editura Sitech, Craiova, pp.239-242, 2006.
- [9] Popescu M.C., *Comanda și optimizarea proceselor*, Editura Universitaria Craiova, pp. 255-276, 2007.
- [10] Popescu M.C., Popescu L.G., Olaru O., *The predictive control applied to an induction drive*, The 4th International Federation of Automatic Control Conference on Management and Control of Production and Logistic, Proceedings IFAC-MCPL, pp.739-745, Vol.3, Editura Universitaria, Sibiu, 27-30, september, 2007.
- [11] Popescu M.C., Ilie B., Popescu L.G., Olaru O., *Simulation Hybrid Fuzzy Control of SCARA Robot*, Journal WSEAS Transactions on Systems and Control, Issue 2, Vol.3, pp.105-114, February 2008.
- [12] Rambault, L., *Conception d'une commande floue pour une boucle de régulation*, Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers, 1993.
- [13] Takagi, T., Sugeno, M., *Dérivation of fuzzy control rules from human operator's control actions*, in Proc. IFAC Symp. On Fuzzy Information, Knowledge Representation and Décision Analysis, pp.55-60, July 1983.
- [14] Zadeh, L.A., *Fuzzy Sets*, Information and Control, vol.8, pp.338-353, 1965