

CONTROLUL PRIN LOGICĂ FUZZY A UNUI REDRESOR TRIFAZAT ÎN PUNTE UTILIZAT ÎN ACȚIONĂRILE ELECTRICE DE C.C.

s.l. drd.ing. Adriana Florescu
conf.dr.ing. Ovidiu Radu

Universitatea Politehnica București

Rezumat: Articolul prezintă o aplicație a teoriei mulțimilor vagi, în cadrul unui sistem de reglare a turației unui motor de c.c., alimentat cu un redresor trifazat, comandat în punte. Regulatorul fuzzy din sistemul de înaltă precizie are rolul de a liniariza familia de caracteristici externe a convertorului la funcționarea acestuia în regim de conducție discontinuă de curent prin sarcină. Simulările arată că metoda de reglare prin logică fuzzy este o alternativă viabilă metodelor de reglare convenționale, fiind aplicată cu succes sistemelor industriale complexe și neliniare, a căror modelare matematică este dificilă sau chiar imposibilă.

Cuvinte cheie: logică fuzzy, model de inferență Mamdani, suprafață de control fuzzy.

1. Introducere

Clasa convertoarelor de c.c. cuprinde convertoare c.a.-c.c. (redresoare) și convertoare c.c.-c.c. Motoarele de c.c. pot fi alimentate cu unul dintre aceste tipuri de convertoare de c.c. În figura 1, se propune schema bloc clasică a unui sistem de reglare automată (SRA) a turației motoarelor de c.c. în topologie serie modificată, adică, pe lângă buclele principale ce conțin regulatorul de turație (RT) și regulatorul de curent (RC), se introduce a treia buclă internă rapidă ce conține regulatorul de liniarizare (RL) a caracteristicii externe a convertorului de c.c., specific sistemelor de înaltă precizie.

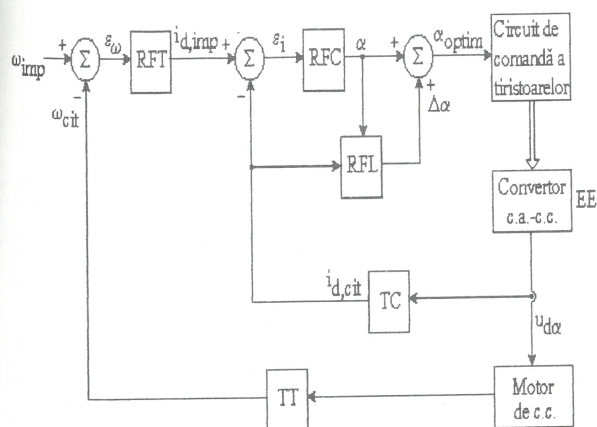


Figura 1. Schema bloc a unui SRA realizat cu RF

În figura 1, s-a ales ca element de execuție (EE) un redresor trifazat în punte, comandat prin unghiul de comandă α_{optim} generat de RC și modificat de RL. Menționăm că structura schemei rămâne valabilă și în cazul alimentării motorului de c.c. cu variatoare de c.c. (o subclasă a convertoarelor c.c.-c.c.), doar că mărirea de comandă a convertorului

nu mai este unghiul de comandă α , ci raportul de conducție D.

În figura 1, se observă că locul reguletoarelor clasice tip PI sau PID a fost luat de *regulate* fuzzy pentru controlul turației (RFT), al curentului (RFC) și de liniarizare a caracteristicii externe (RFL). Justificarea acestei alegeri sunt acționările electrice de c.c. cu realizare practică din ultimul deceniu [1], care au arătat că, prin înlocuirea reguletoarelor clasice cu regulate proiectate prin logică fuzzy, crește imunitatea întregului SRA la variațiile parametrice, iar parametrii de performanță, specifici răspunsului indicial, în regimul tranzitoriu se îmbunătățesc simultan.

De regulă, în proiectare atenția se concentrează asupra RFT și RFC [2]. Prezentul articol se concentrează asupra proiectării RFL, care are rolul de *preregulator de turație*. El modifică (crește/scade) unghiul de comandă α al tiristoarelor din redresor (furnizat de RFC) cu valoarea $\Delta\alpha$ corespunzătoare modificării curentului prin motor (scade/crește), rezultând $\alpha_{optim} = \alpha \pm \Delta\alpha$. Știind că turația motorului este direct proporțională cu valoarea medie a tensiunii cu care acesta este alimentat, comanda motorului se face prin controlul cu ajutorul unghiului α a valorii medii $U_{d\alpha}$ a tensiunii instantanee $u_{d\alpha}$ obținută la ieșirea redresorului comandat care alimentează motorul de c.c.

2. Baza matematică a caracteristicii externe a redresorului trifazat în punte având ca sarcină un motor de c.c.

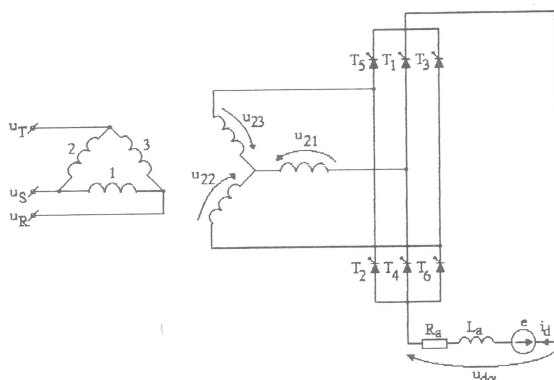
2. 1. Expresia matematică a caracteristicii externe

Convertorul trifazat în punte complet comandat îmbină avantajele care decurg dintr-un număr mare de pulsuri ($p=6$) și dintr-un număr mic de faze ($m=3$), fiind cea mai utilizată schemă de redresare. Datorită numărului mare de pulsuri, tensiunea redresată are pulsații mult mai reduse decât la alte convertoare, motiv pentru care în unele aplicații se elimină bobina de netezire.

Motorul de c.c. poate fi echivalat prin înserierea elementelor R_a - rezistența circuitului rotor, L_a - inductanța proprie totală a circuitului rotor și e - t.e.m. indusă prin rotație în una din căile de curent ale înfășurării rotorice. Dacă se lucrează la o turație fixată a motorului, t.e.m. este constantă și va fi notată E .

Notăm $u_{d\alpha}$ - tensiunea la bornele motorului de c.c.

și i_d - curentul absorbit de motor. Schema din fig.2 este detalierea electrică a redresorului trifazat comandat în punte realizat cu tiristoare ce alimentează



motorul de c.c. din figura 1.

Figura 2. Schema electrică a redresorului comandat în punte ce alimentează motorul de c.c.

Pot apare trei regimuri de funcționare ale motorului:

1. regimul de funcționare cu curent întrerupt prin sarcină, pentru $0 < \beta < \pi/3$;
2. regimul de graniță, pentru $\beta = \pi/3$;
3. regimul de funcționare cu curent neîntrerupt prin sarcină, pentru $\beta > \pi/3$ [3], unde prin β este notat unghiul de stingere al curentului i_d prin motor. Ecuațiile matematice pentru cele 3 regimuri de funcționare ale motorului de c.c. sunt:

1. regimul de curent întrerupt prin sarcină ($0 < \beta < \pi/3$):

Pentru simplitatea calculelor, se mută originea axei tensiunii $u_{d\alpha}$ în momentul apariției curentului i_d . Astfel, $u_{d\alpha}$ capătă expresia:

$$u_{d\alpha} = U \sin(\omega t + \pi/m + \alpha) \quad (1)$$

Ecuația diferențială atașată figurii 2 este:

$$L_a \frac{di_d}{dt} + R_a i_d + e = U \sin(\omega t + \pi/m + \alpha), \quad (2)$$

cu condiția inițială $i_d(t=0)=0$ [4].

Din rezolvarea ecuației (2), se determină expresia curentului i_d , iar valorile medii normate ale curentului i_d (prin valoarea de normare $3U/\pi X_L$) și tensiunii $u_{d\alpha}$ (prin valoarea de normare U) sunt:

$$U_{dn} = \frac{3}{\pi} \left[\cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha + \beta\right) \frac{e}{U} \right] + \frac{e}{U} \quad (3)$$

$$I_{dn} = \frac{X_L}{R_a} \left[\cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha + \beta\right) \frac{e\beta}{U} \right] \quad (4)$$

Relația de legătură între e și β este obținută prin punerea condiției la sfârșitul intervalului de

$$\frac{e}{U} = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha + \beta - \varphi\right) - \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha - \varphi\right) \exp\left(-\frac{R_a \beta}{X_L}\right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_a}{X_L}\right)^2} \left[1 - \exp\left(-\frac{R_a \beta}{X_L}\right)\right]} \quad (5)$$

conducție a curentului întrerupt, anume $i_d(\omega t = \beta) = 0$, rezultând:

în care $\varphi = \arctg\left(\frac{\omega L_a}{R_a}\right)$ este unghiul de fază al

sarcinii, iar $X_L = \omega L_a$.

2. regimul de graniță ($\beta = \pi/3$):

Se introduce valoarea $\beta = \pi/3$ în relațiile de mai sus.

3. regimul de curent neîntrerupt prin sarcină ($\beta > \pi/3$):

$$U_{dn} = \frac{3}{\pi} \cos \alpha, \quad (6)$$

oricare ar fi valoarea medie a curentului $i_d > i_{dL}$.

2.2. Graficul caracteristicii externe a redresorului trifazat în punte

Deoarece în regim de conducție întreruptă relațiile care intervin sunt *transcendente*, pentru reprezentarea grafică a familiei de caracteristici externe, normate în regimul conducției întrerupte, s-a conceput un program MatLab pentru cazul particular $m=3$ și $U=50V$, care are următorul algoritm:

1. Stabilirea variabilelor globale;
2. Inițializarea într-o buclă de tip "FOR" a unghiului de conducție al tiristoarelor *alfa*. *Alfa* ia valori de la 0° la 90° , cu pas fix de 5° ;
3. Inițializarea într-o buclă de tip "FOR" a tensiunii contraelectromotoare e nominalizată

ca variabilă globală E . E ia valori de la 0 până la 90 cu pas fix de 1;

4. Se determină variabila β din ecuația transcendentă $E/U = f(\alpha, \beta)$. Soluția ecuației este parametrul β notat în programul "TRANZRED" ca variabila globală β ;
5. Dacă β este cuprins între 0° și 60° (regim întrerupt) atunci:
6. Cu valoarea lui β de la pasul anterior se calculează valoarea lui U_{dn} și I_{dn} ;
7. Dacă nu și β este cuprins între 60° și 90° (regim neîntrerupt și funcționare în regim de redresor) atunci:
8. Cu valoarea lui β de la pasul anterior se calculează valoarea lui U_{dn} și I_{dn} ;
9. Se reprezintă grafic curbele $U_{dn} = f(I_{dn})$, pentru ambele regimuri de funcționare.

3. Proiectarea RFL pentru redresorul trifazat comandat în punte

În urma reprezentării grafice, au fost interpolate din fiecare curbă pentru fiecare α (alfa) valorile curentului I_{dn} corespunzătoare unor unghiuri $\Delta\alpha$ ($\Delta\alpha$) care ar produce liniarizarea caracteristicilor. Unghiurile $\Delta\alpha$ corespunzătoare curenților scăzător I_{dn} din fiecare câmp al Tabelului 1 ar produce prin adunare la unghiul α inițial liniarizarea caracteristicilor externe normate în domeniul conducerii întrerupte.

3.1. Modelarea RFL cu diferite clase de funcții de apartenență parametrică

Conform figurii 1, controller-ul fuzzy pentru liniarizarea caracteristicilor externe normate are două

Tabelul 1. Valorile lui I_{dn} interpolate din graficul caracteristicii externe trasat de MatLab:

I_{dn}		α						
		20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
$\Delta\alpha$	0°	0.0328	0.0495	0.063	0.0747	0.0821	0.0903	0.0918
	5°	0.0236	0.0317	0.0386	0.0443	0.0487	0.052	0.0533
	10°	0.016	0.0195	0.0227	0.0251	0.0266	0.0276	0.0283
	15°	0.0095	0.0105	0.0114	0.012	0.126	0.126	0.0124
	20°	0.0047	0.0048	0.0046	0.005	0.0047	0.005	0.0137
	25°	0.0017	0.0014	0.0011	0.0012	0.0008	0.0007	0.0005
	30°	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	-

În urma rulării, s-a obținut reprezentarea grafică din figura 3 a familiei caracteristicilor externe neliniare. Caracteristicile externe normate au fost reprezentate în principal în domeniul conducerii întrerupte, graficul în domeniul conducerii neîntrerupte continuând graficele paralel cu axa orizontală.

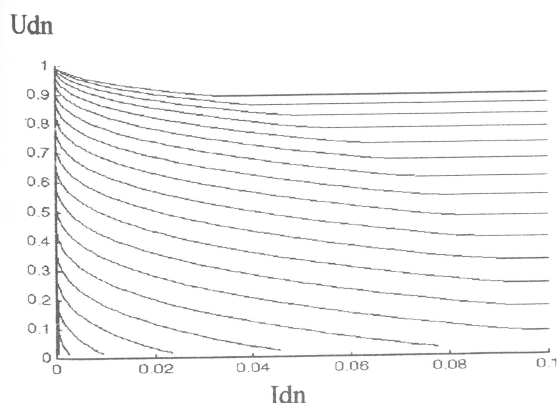


Figura 3. Caracteristicile externe ale redresorului trifazat în punte și sarcină R-L-E

intrări și o ieșire. Cele două variabile de intrare sunt: I_{dn} (cu valori alese între 0 și 0,08) și α (cu valori alese între 10° și 90°), iar variabila de ieșire este $\Delta\alpha$ (cu valori cuprinse între 0° și 30°).

- Pentru cele trei variabile (intrare și ieșire) au fost alese funcții de apartenență simetrice și echidistante;
- Pentru fuzzificare s-a fost ales metoda max-min;
- Modelul de inferență ales a fost tipul Mamdani;
- Pentru modelarea convertorului au fost alese trei tipuri de funcții de apartenență: triunghi, trapez și Gauss [5]. În urma acestui demers, în final se va stabili care dintre cele trei clase de funcții de apartenență parametrică este cea mai bună pentru liniarizarea caracteristicii externe a redresorului, prin compararea erorilor.

Prin comparări succesive între valorile rezultate din formulele matematice și valorile obținute prin simulare (folosind Toolbox-ul Fuzzy din Matlab), s-a ales pentru fiecare variabilă un număr de funcții de apartenență astfel:

1. pentru variabila *alfa* s-au ales 5 funcții de apartenență. În ordine crescătoare ale valorilor din universurile discursurilor, aceste funcții de apartenență sunt denumite: NB, NS, ZE, PS, PB;
2. pentru variabila I_{dn} s-au ales 9 funcții de apartenență. În ordine crescătoare ale valorilor din universurile discursurilor, funcțiile de apartenență sunt: NVB, NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB, PVB;
3. pentru variabila *Dalfa* au fost alese 11 funcții de apartenență. În ordine crescătoare ale valorilor din universurile discursurilor, aceste funcții de apartenență sunt denumite: NVB, NB, NM, NS, NVS, ZE, PVS, PS, PM, PB, PVB [6].

Pe baza datelor interpolate din reprezentările grafice ale caracteristicilor externe normate și a experienței practice privind funcționarea convertorului, dependența $Dalfa = f(I_{dn}, alfa)$ a fost stabilită sub forma unei matrici de inferență completă, reprezentând baza de reguli conform

Tabelul 2. Baza de reguli fuzzy pentru RFL

I_{dn}		α				
		NB	NS	ZE	PS	PB
Δ_{α}	NVB	NVB	PB	PB	PB	PB
	NB	NVB	ZE	ZE	ZE	ZE
	NM	NVB	NS	NVS	NVS	NVS
	NS	NVB	NM	NS	NS	NS
	ZE	NVB	NB	NM	NM	NS
	PS	NVB	NVB	NB	NM	NM
	PM	NVB	NVB	NB	NB	NB
	PB	NVB	NVB	NB	NB	NB
	PVB	NVB	NVB	NVB	NVB	NB

căreia funcționează regulatorul fuzzy (Tabelul 2).

3.1.1. Cazul funcțiilor de apartenență TRIUNGHI

Au fost alese triunghiuri isoscele simetrice și echidistante ale căror baze se suprapun în procent de 50%. Această alegere are avantajul major că pentru un set precis de valori ale mărimilor de intrare I_{dn} și *alfa* nu sunt activate la un moment dat decât 4 reguli din întreaga bază de reguli.

În urma defuzzificării cu metoda centrelor de simetrie s-au obținut rezultatele din Tabelul 3 pentru variabila de ieșire *Dalfa*. Prima coloană din tabelul 3 reprezintă valorile ideale ale lui *Dalfa* care ar fi de dorit să se obțină pentru liniarizarea caracteristicilor. În tabelul 4 este exprimată eroarea = (Valoarea obținută prin simulare fuzzy) - (*Dalfa* ideal).

Se observă că cele mai mari erori apar de regulă la capetele intervalelor de prelucrare, anume la începutul intervalelor de prelucrare (când *Dalfa* necesar este cel mai mare) și la sfârșitul intervalelor de prelucrare (când este de dorit să nu se acționeze asupra lui *alfa*). Ele sunt datorate modului de alegere a funcțiilor de apartenență.

Tabelul 3. Valorile lui Dalfa obținute în urma simulării cu regulator fuzzy pentru funcții de apartenență triunghiulare

Dalfa obținut prin simulare fuzzy cu Matlab		α						
		20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Dalfa Ideal	0°	4.5°	0.9°	2.7°	0.9°	0°	0°	0°
	5°	6.6°	5.7°	4.8°	4.8°	4.5°	5.7°	5.1°
	10°	9.6°	9.3°	9.6°	10.5°	9.9°	9.6°	9.6°
	15°	14.1°	15°	14.1°	14.7°	14.1°	14.4°	14.4°
	20°	16.2°	24.6°	24.6°	24.3°	24.6°	24.3°	24.3°
	25°	24.6°	26.7°	26.4°	26.7°	26.4°	26.7°	26.7°
	30°	25.5°	27°	27°	27°	27°	27°	—

Tabelul 4. Erorile de simulare fuzzy cu Matlab pentru funcții de apartenență triunghiulare

Eroarea de simulare		α						
		20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Dalfa ideal	0°	4.5°	0.9°	2.7°	0.9°	0°	0°	0°
	5°	1.6°	0.7°	-0.2°	0.2°	-0.5°	0.7°	0.1°
	10°	-0.4°	-0.7°	-0.4°	0.5°	-0.1°	-0.4°	-0.4°
	15°	-0.9°	0°	0.9°	-0.3°	-0.9°	-0.6°	-0.6°
	20°	-3.8°	4.6°	4.6°	4.3°	4.6°	4.3°	4.3°
	25°	-0.4°	1.7°	1.4°	1.7°	1.4°	1.7°	1.7°
	30°	-4.5°	-3°	-3°	-3°	-3°	-3°	—

Suprafața de control este prezentată în figura 4, evidențiază zone mici de neintervenție a RF, anume zonele de suprafață constantă.

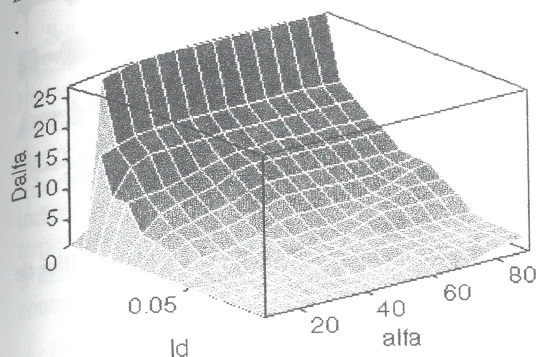


Figura 4. Suprafața de control pentru cazul funcțiilor de apartenență triunghi

alfa, astfel încât să nu fie active la un moment dat decât 4 reguli din întreaga bază de reguli.

În urma defuzificării cu metoda centrelor de simetrie s-au obținut rezultatele din Tabelul 5 pentru variabila de ieșire Dalfa. Prima coloană din tabelul 5 reprezintă valorile ideale ale lui Dalfa care s-ar fi de dorit să se obțină pentru liniarizarea caracteristicilor. În tabelul 6 este exprimată eroarea = (Valoarea obținută prin simulare fuzzy)-(Dalfa ideal):

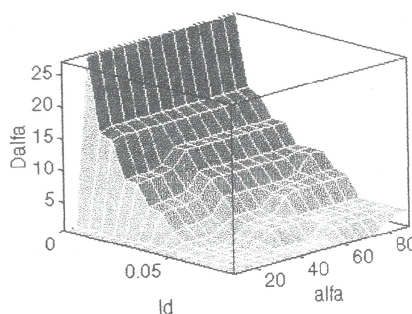


Figura 5. Suprafața de control pentru cazul funcțiilor de apartenență trapez

Tabelul 5. Valorile lui Dalfa obținute în urma simulării pentru regulatorul fuzzy pentru funcții de apartenență trapezoidale

Dalfa obținut prin simulare fuzzy cu Matlab		Alfa						
		20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Dalfa ideal	0°	5.1°	0.6°	2.4°	0.9°	0°	0°	0°
	5°	7.8°	6°	4.5°	5.4°	4.5°	6°	6°
	10°	9°	9°	10.5°	10.2°	9.3°	9°	9°
	15°	14.1°	15°	15°	15°	15°	15°	15°
	20°	15.9°	25.5°	25.5°	25.2°	25.5°	25.2°	26.4°
	25°	26.1°	27°	27°	27°	27°	27°	27°
	30°	26.1°	27°	27°	27°	27°	27°	-

Tabelul 6. Erorile de simulare fuzzy cu Matlab pentru funcții de apartenență trapezoidale

Eroarea de simulare		Alfa						
		20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Dalfa	0°	5.1°	0.6°	2.4°	0.9°	0°	0°	0°
	5°	2.8°	1°	-0.5°	0.4°	-0.5°	1°	1°
	10°	-1°	-1°	0.5°	0.2°	-0.7°	-1°	-1°
	15°	-0.9°	0°	0°	0°	0°	0°	0°
	20°	-4.1°	5.5°	5.5°	5.5°	5.5°	5.2°	6.4°
	25°	1.1°	2°	2°	2°	2°	2°	2°
	30°	-3.9°	-3°	-3°	-3°	-3°	-3°	-

3.1.2. Cazul funcțiilor de apartenență TRAPEZ

Au fost alese trapeze isoscele simetrice și echidistante ale căror baze se suprapun în procent de 50%. Această alegere are același avantaj major pentru un set precis de valori ale mărimilor de intrare I_{dn} și

Suprafața de control este prezentată în figura 5 și, deoarece erorile cresc față de cazul funcțiilor de apartenență triunghi, zonele de neintervenție a RF (palierale) sunt mai mari și mai numeroase.

3.1.3. Cazul funcțiilor de apartenență GAUSS

Au fost alese funcții de tip Gauss simetrice și echidistante. Această alegere are, de asemenea, avantajul major că, pentru un set precis de valori ale mărimilor de intrare I_{dn} și α , să nu fie active la un moment dat decât 4 reguli din întreaga bază de reguli.

În urma "defuzzificării" cu metoda centrelor de simetrie s-au obținut rezultatele din Tabelul 7 pentru variabila de ieșire Dalfa. Prima coloană din tabelul 7 reprezintă valorile ideale ale lui Dalfa, care s-ar fi de dorit să se obțină pentru liniarizarea caracteristicilor. În tabelul 8, este exprimată eroarea = (Valoarea obținută prin simulare fuzzy) - (Dalfa ideal):

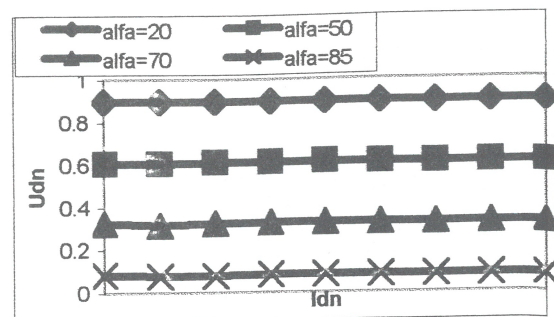


Figura 7. Graficele câtorva curbe ale familiei de caracteristici externe liniarizate

Tabelul 7. Valorile lui Dalfa obținute în urma simulării pentru regulatorul fuzzy pentru funcții de apartenență gaussiene

Dalfa obținut prin simulare fuzzy cu Matlab	alfa							
	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
Dalfa ideal	0°	4.8°	0.9°	2.7°	1.2°	0°	0°	0°
	5°	6.6°	6°	4.8°	5.1°	4.5°	5.7°	5.1°
	10°	9.6°	9°	9.9°	10.2°	9.9°	9.3°	9.3°
	15°	14.1°	14.7°	14.4°	14.7°	14.4°	14.7°	14.4°
	20°	16.1°	17.7°	24.3°	18.3°	24.3°	18.3°	25.2°
	25°	24.3°	26.4°	26.4°	26.7°	26.4°	26.7°	26.4°
	30°	25.2°	26.7°	26.4°	26.7°	26.4°	26.7°	-

Tabelul 8. Erorile de simulare fuzzy cu Matlab pentru funcții de apartenență Gaussiene

Eroarea de simulare	Alfa							
	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	
Dalfa	0°	4.8°	0.9°	2.7°	1.2°	0°	0°	0°
	5°	1.6°	1°	-0.2°	0.1°	-0.5°	0.7°	0.1°
	10°	-0.4°	-1°	-0.1°	0.2°	-0.1°	-0.7°	-0.7°
	15°	-0.9°	-0.3°	-0.6°	-0.3°	-0.6°	-0.3°	-0.6°
	20°	-3.9°	-2.3°	4.3°	-1.7°	4.3°	-1.7°	5.2°
	25°	-0.7°	1.4°	1.4°	1.7°	1.4°	1.7°	1.4°
	30°	-4.8°	-3.3°	-3.6°	-3.3°	-3.6°	-3.3°	-

funcțiilor de apartenență trapez, ele sunt mai dese, (paliere pe suprafețe mai mici, dar mai dese).

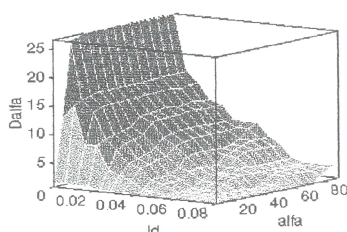


Figura 6. Suprafața de control pentru cazul funcțiilor de apartenență Gauss

Suprafața de control este prezentată în figura 6 și, deși erorile sunt mai mici decât în situația utilizării

4. Rezultate obținute

În urma prelucrării pe calculator, au fost obținute valori pentru Dalfa pentru fiecare valoare a lui α . Graficele curbelor liniarizate cu funcții de apartenență triunghiulare (mai puțin capetele intervalelor, unde formele de apartenență gaussiene au permis obținerea de rezultate mai bune) sunt prezentate în figura 7 pentru câteva valori ale unghiului de comandă α , considerat ca parametru.

5. Concluzii finale privind proiectarea RFL a convertoarelor c.a. - c.c.

S-a proiectat exclusiv RFL pentru redresorul trifazat în punte, alegând modelul de inferență tip Mamdani. S-au ales funcții de apartenență simetrice și echidistante și s-a analizat efectul formelor acestora asupra RF. Astfel, s-a ajuns la concluzia generală că formele de apartenență triunghiulare sunt cele mai indicate, apoi cele Gaussiene și la urmă cele trapezoidale, luând drept criteriu de apreciere numărul și întinderea zonelor constante din cadrul suprafeței de control, zone în care RLF este inactiv.

Pe baza erorilor de simulare obținute, care sunt mari la capetele universurilor discursurilor mărimilor de intrare în RF, se propune o partiție fuzzy având funcții gaussiene la capete și în rest funcții triunghiulare. Se face astfel tranziția către regulatoarele neuro-fuzzy (RNF), care utilizează exclusiv funcții Gauss și clopot generalizat.

Se remarcă capacitatea RF de a îngloba legi de control neliniare, indiferent de expresia lor matematică, realitate ce recomandă RF în SRA profund neliniare și complexe.

Modelul de inferență Mamdani utilizat conferă RLF proiectat avantaje și dezavantaje:

A Avantaje

- din întreaga bază de reguli, la un moment dat, sunt active doar 4 reguli;
- deoarece funcțiile de apartenență se suprapun în procent de 50%, se poate memora în unitatea de calcul doar jumătate din baza de reguli, calculul gradelor de apartenență ale celorlalte jumătăți făcându-se prin complementare fuzzy (operatorul NU);
- este cea mai utilizată metodă de inteligență artificială pentru implementarea aplicațiilor în timp real, folosind procesoare fuzzy.

B. Dezavantaje

- baza de reguli conține zeci de reguli, ocupând memoria calculatorului/microprocesorului utilizat în implementarea în timp real (de exemplu, pentru redresoarele trifazate comandate s-au utilizat 45 de reguli);
- reglajul făcându-se prin menținerea numărului și formei funcțiilor de apartenență și modificarea artizanală a bazei de reguli, rezultă că:
 - simulările sunt valabile pentru zone mai mult sau mai puțin restrânse din toată

gama de variație a mărimilor de intrare. De exemplu, pentru redresorul trifazat comandat în punte, I_{dn} e cuprins în gama 0 - 0,08 (teoretic, gama maximă fiind de la 0 la infinit) și α în gama 10 - 90 grade (teoretic, gama maximă fiind de la 0 la 180 grade);

- metoda de proiectare este nesistematică, proiectarea consumând timp și rezultatele fiind aleatorii ca performanță. Erorile de simulare sunt variabile în game mari (0 - 30%).

Bibliografie

- TREMAIN, B., P.: Weight the Benefits of Fuzzy Logic vs Classical Control in a Disk Drive Spindle, EDN, July 7, 1994, USA, pp. 134 - 138.
- SOUSA, G.C.D., BOSE, B.K.: A Fuzzy Theory Based Control of a Phase-Controlled Converter DC Machine Drive. În: IEEE Press, 1991, pp. 854 - 861.
- MOHAN, N., UNDELAND, T.M., ROBBINS, W.P.: Power Electronics: Converters, Applications and Design, John Wiley & Sons, Inc., 1995, USA.
- RASHID, H.M.: Power Electronics: Circuits, Devices and Applications, Prentice-Hall, 1992.
- GUPTA, T., BOURDEAUX, R., NELMS, R., HUNG, J.: Implementation of a Fuzzy Controller for DC-DC Converters using an Inexpensive 8-b Microcontroller. În: IEEE Trans. On Industrial Electronics, vol.44, n0.5, Oct.1997, pp. 661-669.
- FLORESCU, A., RĂDOIU, C.: Conventional Control and Fuzzy Control of an ac-dc Converter for DC Machine Drive. În: Proc. of A&Q International Conference on Automation and Quality Control, , 28-29 May 1998, Cluj, Romania, pp. A547-A541.